

فصل

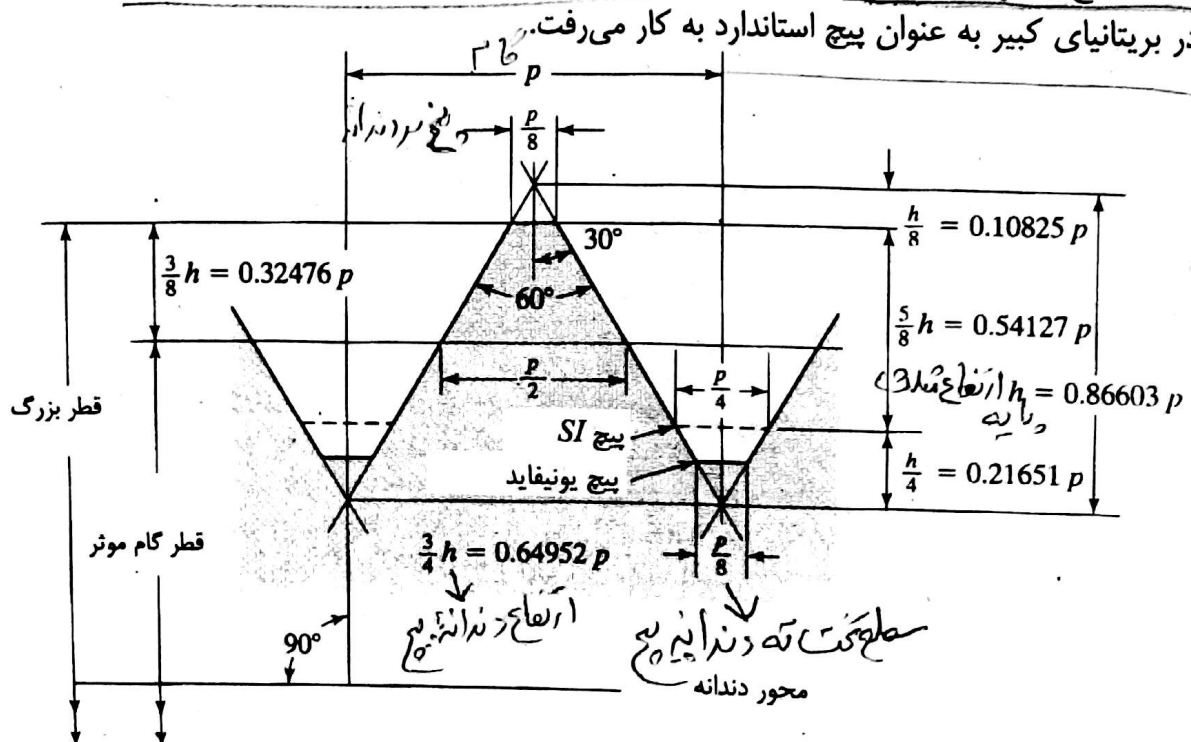
پنجم

پیچ‌ها

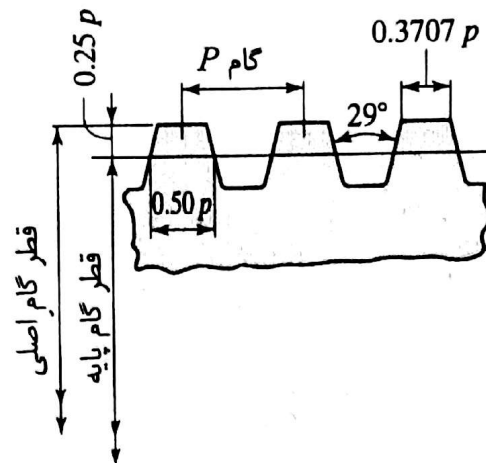
پیچها و مهره‌ها برای بستن اجزاء ماشین به یکدیگر و سوار کردن آنها روی یک مجموعه به کار می‌روند. طراح باید با انواع دندانه (رزوه) پیچها و روش تعیین تفرانس‌های مطلوب برای جفت سازی پیچ و مهره آشنا باشد. همچنین طراح باید دلایل افزایش مقاومت خستگی در اثر اعمال تنش اولیه بر پیچ را بداند. پیچ‌های توان، برای ایجاد حرکت‌های انتقالی و وارد کردن نیرو به کار می‌روند.

۵-۱ انواع دندانه پیچ

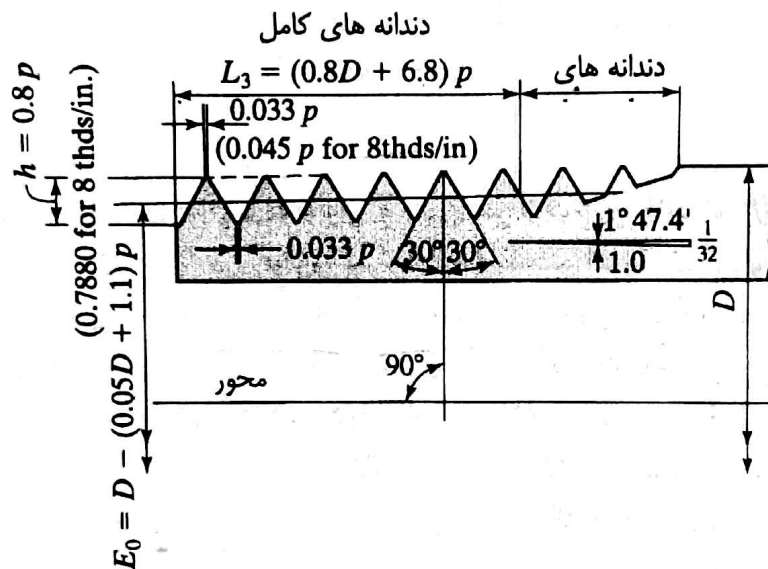
در سیستم اینچی، عموماً دندانه‌های پیچهای معمولی و بدون سر از نوع یونیفاید *Unified* است. دندانه یونیفاید با توافق کمیته‌های استانداردسازی کانادا، بریتانیای کبیر و ایالات متحده آمریکا تعیین و رسمی اعلام شده است. در آمریکا دندانه یونیفاید جانشین دندانه آمریکن ناشنال (که قبلاً به عنوان دندانه پیچ استاندارد بود) شده است. پیچها و مهره‌های این دو سیستم با هم سازگار هستند، بعبارت دیگر، به هم می‌خورند. در واقع، این دو سیستم فقط در برخی جزئیات کوچک با هم اختلاف دارند. این اختلاف عمدتاً در رابطه با تفرانس‌ها است. زاویه دندانه 60° است. در شکل (۵-۱a) فرم اساسی دندانه نشان داده شده است. اما در عمل، ته (ریشه) دندانه‌های پیچ را به صورت گرد می‌سازند. در سیستم آمریکن ناشنال، تاج دندانه پیچ مسطح است. اما در سیستم یونیفاید می‌تواند مسطح یا گرد باشد. زاویه دندانه، پیچهای ویت ورث مطابق شکل (۵-۱ e) برابر 55° است. این نوع پیچ قبلاً در بریتانیای کبیر به عنوان پیچ استاندارد به کار می‌رفت.



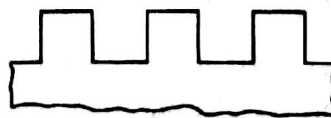
(a)



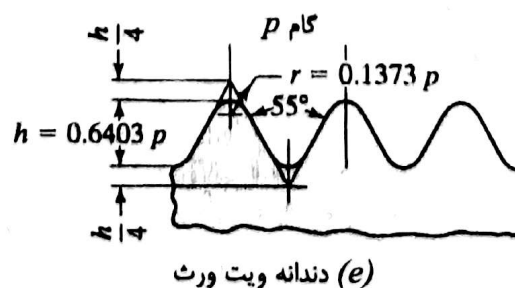
(b) دندانه آکمه ← برای پیچهای هادی و انتقال توان



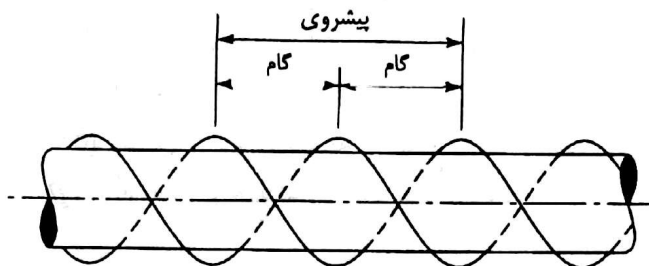
(c) دندانه‌های مخصوص لوله نوع امریکن ناشنال



(d) دندانه مربعی برای طراحی پیچهای انتقال توان



شکل ۵-۱: شکل‌های اساسی دندانه‌های پیچ



شکل ۵-۲: پیچ دوراها یا دو مارپیچه

برای پیچ‌های هادی و انتقال توان غالباً از دندانه آکمه *Acme* استفاده می‌شود. دندانه آکمه در شکل (۵-۱b) نشان داده شده است. زاویه کامل دندانه آکمه 29° است. نسبت‌ها و مشخصات استاندارد دندانه‌های ویژه لوله‌ها در سیستم امریکن ناشنال در شکل (۵-۱c) ارائه شده است. در این نوع پیچ، سطح تخت تاج و ریشه دندانه‌ها کوچکتر است و خود پیچ اندکی شیب دارد. این دو عامل باعث درزبندی محبب آنها در مقابل نفوذ سیالات می‌شود. از دندانه‌های مربعی شکل (۵-۱d) به طور محدود برای طراحی پیچ‌های انتقال توان استفاده می‌شود.

اگر یک استوانه خیالی هم محور با پیچ، دندانه‌های پیچ را در ارتفاعی (ارتفاعی از دندانه) قطع کند که عرض دندانه با عرض شیار بین دو دندانه برابر شود قطر این استوانه خیالی را قطر گام می‌نامیم (شکل ۵-۱a). فاصله موازی محور پیچ میان یک نقطه روی یک دندانه و نقطه نظیر آن روی دندانه مجاور را گام پیچ می‌نامند. اگر تنها یک شیار مارپیچ روی میله بتراشیم، پیچ بدست آمده را پیچ یک راهه (یک مارپیچه) می‌گویند. اما اگر زاویه شیار مارپیچ را کمی زیاد انتخاب کنیم و میان دو شیار موجود یک شیار مارپیچ دیگر بتراشیم، پیچ به دست آمده را پیچ دو راهه می‌نامند (شکل ۵-۲). در بعضی موارد از پیچ‌های سه راهه و چهار راهه استفاده می‌شود. در پیچ‌های چند راهه، فاصله‌ای را که یک مهره به ازای یک دور کامل خود در روی پیچ طی می‌کند، پیشروی *lead* نامیده می‌شود. یادآور می‌شویم پیشروی پیچ را گام حقیقی نیز می‌نامند. گام (گام ظاهری) پیچ را بعنوان پیشروی پیچ یک راهه تعریف می‌کنند. مارپیچ ممکن است به صورت راستگرد یا چپ گرد تراشیده شود. پیچ شکل (۵-۲) از نوع راستگرد است. قطر بزرگ پیچ یا قطر میله‌ای را که روی آن پیچ تراشی می‌شود به d نشان می‌دهیم. مثلث پایه‌ای که اضلاع آن نسبت به محور پیچ زاویه 60° می‌سازد دارای قاعده‌ای برابر با گام p است. ارتفاع h مثلث پایه که بصورت قائم بر محور پیچ اندازه گیری می‌شود از رابطه زیر بدست می‌آید

$$h = 0.86603 p \quad (1)$$

سطوح تخت تاج یا ته دندانه پیچ دارای عرض $p/8$ است و ارتفاع دندانه برابر با $h/8$ است. بنابراین ارتفاع این دندانه به طور قائم بر محور پیچ برابر با $3/4 h$ است. پس می‌توان نوشت

$$\text{ارتفاع دندانه پیچ} = \frac{3}{4} h = \frac{3}{4} \times 0.86603 p = 0.6495 p \quad (2)$$

$$dp = \text{قطر گام} = d - \frac{3}{4} h = d - 0.6495 p \quad (3)$$

$$dr_{\text{root}} = \text{قطر ریشه} = d - 2 \times 0.6495 p = d - 1.2990 p \quad (3a)$$

مثال ۵-۱

قطر گام، زاویه مارپیچ و مساحت ریشه یک پیچ 1 in. از نوع دندانه درشت را به دست آورید.

اطلاعات داده شده: قطر پیچ استاندارد برابر با 1 اینچ است.
 فرضها: پیچهای با استاندارد یکسان دارای خواص هندسی یکسان هستند.
 روش حل: از اطلاعات جدول (۵-۱) استفاده می‌کنیم.
 جزئیات حل: مطابق جدول (۵-۱)، سری پیچهای دندانه درشت $1in$ در هر اینچ از طول خود دارای ۸ دندانه هستند. یعنی داریم $p = 1/8 in$. با استفاده از معادله (۳) خواهیم داشت

$$\text{قطر گام} = 1 - 0.6495 \times \frac{1}{8} = 0.9188 in$$

$$\text{محیط دایره گام} = 0.9188 \pi = 2.88650 in.$$

برای زاویه مارپیچ α داریم

$$\tan \alpha = \frac{0.125}{2.88650} = 0.04331 ; \alpha = 2^\circ 29'$$

از معادله (۳a) داریم

$$\text{قطر ریشه} = d - 1.2990 p = 1 - 1.2990 \times \frac{1}{8} = 0.8376 in$$

$$\text{مساحت ریشه} = \frac{\pi}{4} \times 0.8376^2 = 0.5510 in^2$$

همانگونه که در جدول (۵-۱) ارائه شده، سطح تنش این پیچ برابر با $0.606 in^2$ است. مشاهده می‌شود که گردسازی مجاز ریشه باعث افزایش سطح تنش شده است. این افزایش، در موقع محاسبه ظرفیت میله رزوه دار برای تحمل بار کششی، به عنوان یک مزیت در نظر گرفته می‌شود.

۵-۲ دندانه‌های استاندارد برای پیچها

جدول (۵-۱) اندازه‌ها و گام‌های مختلف را برای دندانه‌های یونیفاید و امریکن نشانال، بطور خلاصه نشان می‌دهد. منظور از اندازه پیچ، قطر بزرگ آن است. به عبارت دیگر، اندازه پیچ به قطری میله‌ای اطلاق می‌شود که روی آن عمل پیچ تراشی انجام می‌گیرد. یادآور می‌شویم که اندازه‌های کوچکتر از $1/4 in$ با شماره مشخص می‌شوند. در حالت کلی دو نوع دندانه، یعنی دندانه ریز و درشت در روی هر قطر میله، تراشیده می‌شود. برای بعضی از اندازه‌ها، دندانه‌های فوق ریز (بسیار ریز) نیز وجود دارد. اطلاعات کامل در مورد اندازه‌ها، گام‌ها، لقی‌ها و تolerانسها در آیین‌نامه یونیفاید و امریکن نشانال $ASA B1.1 - 1989$ آمده است. این آیین‌نامه توسط انجمن مهندسان مکانیک آمریکا چاپ می‌شود. سه گروه دیگر از دندانه‌ها با تعداد دندانه‌های ۸، ۱۲، ۱۶ دندانه در اینچ نیز وجود دارد که ممکن است روی میله‌های با قطرهای مختلف تراشیده شود.

از آنجا که ساختن قطعات با اندازه‌های کاملاً دقیق غیرممکن است، در عمل برای ابعاد پیچ و مهره تolerانس‌هایی در نظر می‌گیرند. ناحیه‌های مربوط به تolerانس‌ها (در شکل (۵-۳) و (۵-۴)) نشان داده شده است. هر گاه بُعد اندازه گیری شده در ناحیه تolerانس باشد، قبول می‌کنند که این بُعد مطابق مشخصات ابعادی است.

عبارت فلز ماکزیمم ($maximum metal$) به پیچ و مهره‌ای که در ناحیه تolerانس دارای کوچکترین قطر گام است اشاره می‌کند. همینطور، فلز مینیمم به پیچی که دارای کوچکترین قطر گام و به مهره‌ای که دارای بزرگترین گام است اطلاق می‌شود. لقی ($allowance$) عبارت از فاصله آزاد بین قطرهای گام پیچ و مهره است، به شرطی هم پیچ و هم مهره در شرایط فلز ماکزیمم باشند.

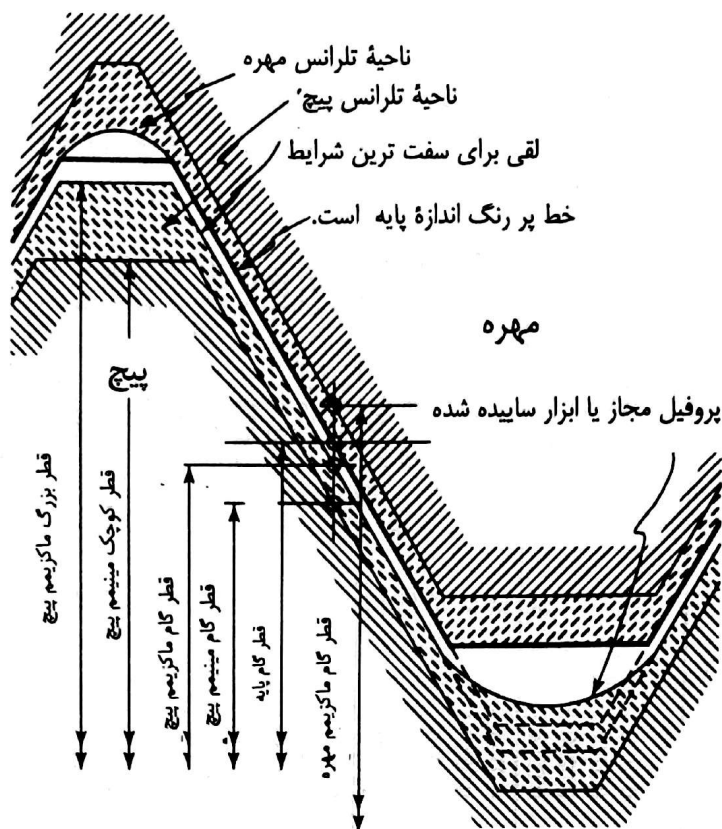
به طور کلی، هر چه ناحیه تolerانس یک فرآورده کوچک باشد، به همان نسبت مرغوبیت آن بیشتر است. از طرف دیگر، هر چه ناحیه تolerانس کوچکتر انتخاب شود، به همان نسبت هزینه‌های تولید بیشتر می‌شود. برحسب اندازه نواحی تolerانس، دندانه‌های یونیفاید و امریکن نشانال را به گروه‌های مختلف تقسیم کرده‌اند. در شکل (۵-۱ a) روش تعیین اندازه پایه برای پیچ و مهره نشان داده شده است.

جدول ۵-۱: ابعاد دندانه های پیچهای یونیفاید و امریکن ناشنال.

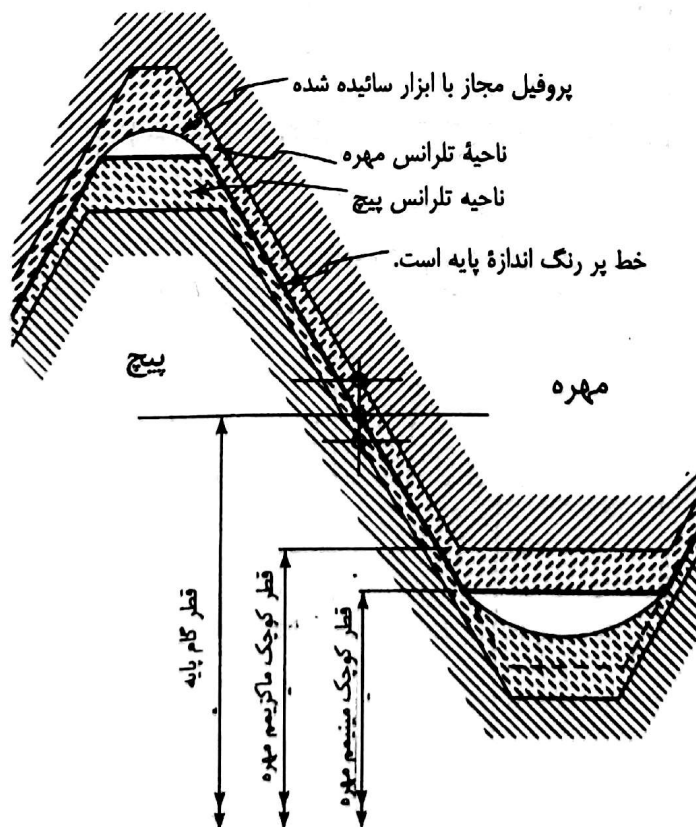
اندازه	گروه پیچهای درشت دندانه				گروه پیچهای ریز دندانه				گروه پیچهای بسیار ریز دندانه			
	قطر خارجی یا بزرگ	تعداد دندانه در in	قطر گام پایه in	مساحت تحت تنش (بر حسب اینچ مربع)	تعداد دندانه در اینچ	قطر گام پایه in	مساحت تحت تنش (بر حسب اینچ مربع)	تعداد دندانه در اینچ	قطر گام پایه in	مساحت تحت تنش (بر حسب اینچ مربع)	تعداد دندانه در اینچ	عرض آچارخور مهره نش گوش (بر حسب اینچ مربع)
0	0.0600				80	0.0519	0.0018					
1	0.0730	64	0.0629	0.0026	72	0.0640	0.0028					
2	0.0860	56	0.0744	0.0037	64	0.0759	0.0039					
3	0.0990	48	0.0855	0.0049	56	0.0874	0.0052					
4	0.1120	40	0.0958	0.0060	48	0.0985	0.0066					
5	0.1250	40	0.1088	0.0080	44	0.1102	0.0083					
6	0.1380	32	0.1177	0.0091	40	0.1218	0.0102					
8	0.1640	32	0.1437	0.0140	36	0.1460	0.0147					
10	0.1900	24	0.1629	0.0175	32	0.1697	0.0200					
12	0.2160	24	0.1889	0.0242	28	0.1928	0.0258	32	0.1957	0.0270		
1/4	0.2500	20	0.2175	0.0318	28	0.2268	0.0364	32	0.2297	0.0379	7/16	
5/16	0.3125	18	0.2764	0.0524	24	0.2854	0.0580	32	0.2922	0.0625	1/2	
3/8	0.3750	16	0.3344	0.0775	24	0.3479	0.0878	32	0.3547	0.0932	9/16	
7/16	0.4375	14	0.3911	0.1063	20	0.4050	0.1187	28	0.4143	0.1274	5/8	
1/2	0.5000	13	0.4500	0.1419	20	0.4675	0.1599	28	0.4768	0.170	3/4	
9/16	0.5625	12	0.5084	0.182	18	0.5264	0.203	24	0.5354	0.214	13/16	
5/8	0.6250	11	0.5660	0.226	18	0.5889	0.256	24	0.5979	0.268	15/16	
3/4	0.7500	10	0.6850	0.334	16	0.7094	0.373	20	0.7175	0.386	1-1/8	
7/8	0.8750	9	0.8028	0.462	14	0.8286	0.509	20	0.8425	0.536	1-5/16	
1	1.0000	8	0.9188	0.606	12	0.9459	0.663	20	0.9675	0.711	1-1/2	
1-1/8	1.1250	7	1.0322	0.763	12	1.0709	0.856	18	1.0889	0.901	1-11/16	
1-1/4	1.2500	7	1.1572	0.969	12	1.1959	1.073	18	1.2139	1.123	1-7/8	
1-3/4	1.3750	6	1.2667	1.155	12	1.3209	1.315	18	1.3389	1.370	2-1/16	
1-1/2	1.5000	6	1.3917	1.405	12	1.4459	1.581	18	1.4639	1.64	2-1/4	
1-3/4	1.7500	5	1.6201	1.90				16	1.7094	2.24	2-5/8	
2	2.0000	4-1/2	1.8557	2.50				16	1.9594	2.95	3	
2-1/4	2.2500	4-1/2	2.1057	3.25							3-3/8	
2-1/2	2.5000	4	2.3376	4.00							3-3/4	
2-3/4	2.7500	4	2.5876	4.93							4-1/8	
3	3.0000	4	2.8376	5.97							4-1/2	
3-1/4	3.2500	4	3.0876	7.10							4-7/8	
3-1/2	3.5000	4	3.3376	8.33							5-1/2	
3-3/4	3.7500	4	3.5876	9.66							5-5/8	
4	4.0000	4	3.8376	11.08							6	

$$F = \frac{F}{A}$$

ممانعت کششی



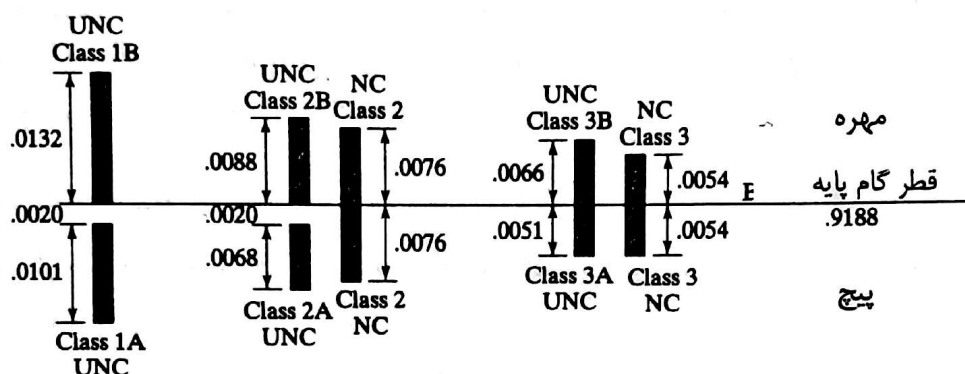
شکل ۳-۵: ناحیه های تیرانس و لقی برای دندانه های یونیفاید گروههای $2A, 1B, 1A, 2B$



شکل ۴-۵: ناحیه های تیرانس برای گروههای $3A$ و $3B$ دندانه یونیفاید و گروههای 2 و 3 دندانه آمریکن ناشنال.

۵-۳ دندانه‌های یونیفاید

دندانه‌های یونیفاید برای پیچهای (خارجی)، به گروههای 1A، 2A و 3A و برای پیچهای (داخلی) به گروههای 1B، 2B و 3B تقسیم شده اند. از گروههای 1A و 1B موقعی استفاده می‌شود که بیشترین تolerانس و لقی بین پیچ و مهره از سوار کردن آنها لازم باشد. در شکل (۵-۳) نمای برشی چنین پیچ و مهره‌ای را پس از سوار کردن مشاهده می‌کنید. قطر گام یک مهره در شرایط فلز ماکزیمم، قطر پایه نامیده می‌شود. همینطور، قطر گام پیچی که در شرایط فلز ماکزیمم است. از اندازه پایه کوچکتر است. در شکل (۵-۵) نمودارهای میله‌ای تolerانس و لقی‌های مربوط به یک پیچ نمونه نشان می‌دهند. گروههای 2A و 2B نیز مانند گروههای 1A و 1B هستند، اما در این گروهها مقادیر تolerانس‌ها و لقی بعد از سوار کردن مهره کوچکتر است. گروههای 2A و 2B برای غالب پیچ و مهره‌ها مناسب هستند.



شکل ۵-۵: تolerانس‌ها و لقی‌های قطر گام برای گروههای مختلف مربوط به پیچ و مهره یک اینچی با تعداد دندانه A دندانه بر هر اینچ

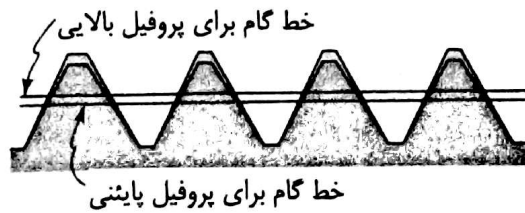
گروههای 3A و 3B برای پیچ و مهره‌ای که در شرایط فلز ماکزیمم هستند دارای حداقل تolerانس هستند و پس از سوار کردن پیچ و مهره، لقی بین آنها به صفر می‌رسد. یاد آور می‌شویم که پیچ و مهره در شرایط فلز ماکزیمم، هر دو دارای قطر پایه هستند. در شکل (۵-۴) نمای برشی چنین پیچ و مهره‌ای را پس از سوار کردن آنها مشاهده می‌کنید. از گروههای 3A و 3B موقعی استفاده می‌شود که انطباق (جفت سازی) بدون لقی و دقیق اهمیت اساسی دارد. در صورت لزوم می‌توان پیچ را از یک گروه و مهره را از گروه دیگر انتخاب کرد.

۵-۴ دندانه‌های امریکن نشنال

دندانه‌های امریکن ناشنال در مورد پیچها و مهره‌ها به دو گروه 2 و 3 تقسیم می‌شوند. مطابق شکل (۵-۴) گروه 2 برای پیچ و مهره دارای حداکثر تolerانس است، اما در شرایط فلز ماکزیمم پیچ و مهره، لقی بین آنها صفر است. تolerانس‌های گروه 3 کوچکتر است و انطباقات نزدیکتر و سفت‌تری را ایجاد می‌کند. همانگونه که در شکل (۵-۴) می‌بینید، در شرایط فلز ماکزیمم، بین پیچ و مهره هیچگونه لقی وجود ندارد.



شکل ۵-۶: تغییرات قطر گام ناشی از تغییر زاویه دندانه



شکل ۵-۷: تغییر قطر گام حاصل از اختلاف موجود بین گام مارپیچ

یادآور می‌شویم که دندانه‌های گروه‌های $2A$ و $2B$ سیستم یونیفاید دارای لقی هستند، اما گروه 2 سیستم امریکن نشنال فاقد لقی است. همانگونه که در شکل ۵-۶ می‌بینید، با تغییر زاویه دندانه یک پیچ، قطر گام آن نیز تغییر می‌کند. اگر گام مارپیچ مهره و پیچ و یا قطر گام آنها اندکی با هم اختلاف داشته باشند، می‌توان فقط چند دور محدود مهره را در روی پیچ، پیچانده و سوار کرد. این موضوع در شکل (۵-۷) نشان داده شده است. تolerانس استاندارد که برای قطر گام پیچ و مهره قائل می‌شوند باید همه خطاهای ناشی از عوامل گوناگون مانند تغییرات گام، زاویه و خود قطر گام را رفع کند.

۵-۵ علائم مشخصه

در زیر مثالهایی در مورد علائم مشخصه مصوب برای استفاده در روی نقشه‌ها، ابزارها و جداول مشخصات و غیره ارائه شده است

(۱) دندانه درشت خارجی یونیفاید با قطر 1 in. و 13 دندانه در اینچ از گروه انطباق $2A$ به صورت زیر بیان میشود.

$$1''-13\text{UNC}-2A \rightarrow \text{نوع انطباق پیچ}$$

(۲) دندانه درشت امریکن نشنال با قطر $1/2\text{ in.}$ و 13 دندانه در اینچ از گروه انطباق 2 به صورت زیر بیان می‌شود.

$$\frac{1}{2}''-13\text{NC}-2 \rightarrow \text{نوع انطباق پیچ}$$

(۳) دندانه ریز داخلی یونیفاید با قطر 1 in. و 12 دندانه در اینچ از گروه انطباق $1B$ به صورت زیر بیان می‌شود.

$$1''-12\text{UNF}-1B$$

هر کدام از پیچهای بالا چپ گرد باشد، در آخر علائم مشخصه آن حروف (LH) اضافه می‌شود.

۵-۶ دندانه‌های متریک SI

پروفیل دندانه‌های سیستم متریک (SI) همانند سیستم یونیفاید است. زاویه کامل دندانه 60° ، عرض تاج دندانه در این سیستم برابر یک هشتم گام دندانه است. مقدار گام دندانه، فاصله یک دندانه از دندانه مجاور خود، در سیستم متریک با واحد میلی‌متر مشخص می‌شود. طرح اساسی دندانه متریک در شکل (۵-۱۰) نشان داده شده است. عرض ته دندانه برابر با $p/4$ است. در جدول (۵-۲) فهرستی از پیچهای منتخب در سیستم متریک ارائه شده است. متأسفانه پیچ و مهره‌های دو سیستم متریک و یونیفاید به هم نمی‌خورند. عبارت دیگر، این دو سیستم سازگار نیستند. دندانه‌های متریک با قطر پیچ و گام دندانه مشخص می‌شوند، مانند $M 10 \times 1.5$.

مثال ۵-۱۰

یک دندانه متریک دارای قطر 14 mm و گام 2 mm است. قطر ریشه (ته دندانه) و مساحت ریشه را بدست آورید.

اطلاعات داده شده: $P = 2\text{ mm}$; $d = 14\text{ mm}$; دندانه های متریک.

روش حل: از معادله (۳) و اطلاعات جدول (۲-۵) استفاده می کنیم.

جزئیات حل: با استفاده از معادله (۳) داریم

$$\text{قطر گام} = d - 0.6495p = 14 - 0.6495 \times 2 = 12.701\text{ mm}$$

عرض ته دندانه در سیستم متریک برابر با $1/4 p$ و ارتفاع ته دندانه از پایه دندانه (محل تقاطع اضلاع دو دندانه مجاور) نیز برابر با $1/4 p$ است. بنابراین، فاصله قائم از خط گام تا ته دندانه (سطح تخت که دندانه) برابر با $1/4 h$ است.

$$\text{قطر ریشه} = \text{قطر گام} - 2 \times \frac{1}{4} h = 12.701 - \frac{1}{2} \times 0.86603p = 11.835\text{ mm}$$

$$\text{مساحت ریشه} = \frac{\pi}{4} \times 11.835^2 = 110.01\text{ mm}^2$$

با استفاده از جدول (۲-۵) مشاهده می شود که گرد کردن ریشه باعث شده سطح تنش اندکی بیشتر از سطح ریشه باشد.

۵-۷ اثر تنش اولیه

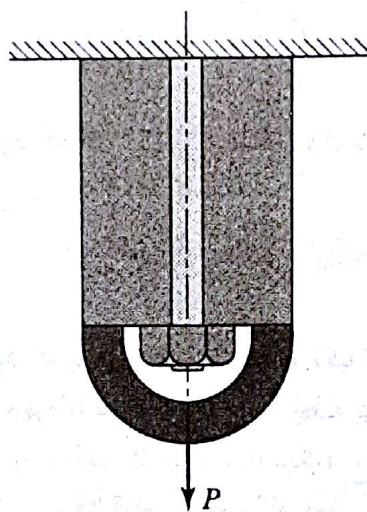
در شکل ۵-۸ بار P بر قطعه ای وارد می شود که به وسیله یک پیچ به تکیه گاهی متصل است. مرکز پیچ بر مرکز گرانش سطح مقطع قطعه منطبق است. فرض کنید مهره را تا مماس شدن به قطعه بوسیله دست بیچانیم و به محض مماس شدن به قطعه دیگر فشار ندهیم و عمل پیچاندن را متوقف کنیم. بعبارت دیگر، مهره را تا جایی بیچانیم که تنش اولیه در آن بوجود نیاید. همچنین فرض کنید در شکل ۵-۸ موقتاً قطعه به تکیه گاه جوش داده شده باشد و این کار باعث شود هم پیچ و هم قطعه تحت بار کششی باشند.

جدول ۵-۲: لیست پیچهای منتخب از سیستم ISO.

مساحت تحت تنش mm^2	قطر گام (mm)	گام (mm)	قطر خارجی (mm)	مساحت تحت تنش mm^2	قطر گام (mm)	گام (mm)	قطر خارجی (mm)
245	18.376	2.5	20	1.27	1.373	0.35	1.6
353	22.051	3	24	2.07	1.740	0.4	2
561	27.727	3.5	30	3.39	2.208	0.45	2.5
817	33.402	4	36	5.03	2.675	0.5	3
1,120	39.077	4.5	42	6.78	3.110	0.6	2.5
1,470	44.752	5	48	8.78	3.545	0.7	4
2,030	52.428	5.5	56	14.2	4.480	0.8	5
2,680	60.103	6	64	20.2	5.350	1	6
3,460	68.103	6	72	36.6	7.188	1.25	8
4,340	76.103	6	80	58.0	9.026	1.5	10
5,590	86.103	6	90	84.3	10.863	1.75	12
6,990	96.103	6	100	115	12.701	2	14
				157	14.701	2'	16

موقعی که بار P بر این سیستم وارد می‌شود، قطعه بلافاصله افزایش طول می‌دهد، و چون در تماس با مهره است پیچ نیز افزایش طول پیدا می‌کند. بنابراین، هر دوی پیچ و قطعه تحت تنش کششی قرار می‌گیرند، زیرا بخشی از بار P به وسیله قطعه و بخش دیگر آن به وسیله پیچ تحمل می‌شود. برای تعیین مقدار بار تحملی قطعه و پیچ بهتر است از ثابت فنری آنها استفاده کنیم. ثابت فنری k هر جسمی مقدار نیرویی است که برای ایجاد تغییر شکلی برابر با 1 in. در آن لازم است. برای محاسبه مقدار ثابت فنری از معادله $\delta = Pl / AE$ استفاده می‌شود. در این معادله موقعی که مقدار δ برابر با واحد است، مقدار P را برابر با k قرار می‌دهیم. با انجام این جاگذاری، معادله k_b برای پیچ و معادله k_p برای قطعه بصورت زیر بدست می‌آید

$$k_b = \frac{A_b E_b}{l_b} \quad , \quad k_p = \frac{A_p E_p}{l_p} \quad (4)$$



شکل ۸-۵: قطعه‌ای که توسط پیچ و مهره بسته شده و بار تحمل می‌کند.

در این معادلات اندیسهای b و p به ترتیب به پیچ و قطعه اشاره دارند. (A) مساحت سطح مقطع، (E) مدول کشسانی و (l) مقدار طول در امتداد نیرو است. اگر قسمت دندانه‌دار پیچ درست در سطح بالایی مهره تمام شود، برای محاسبه k_b باید از مساحت سطح مقطع بزرگ پیچ استفاده شود. زیرا در این حالت بخش فاقد دندانه (صاف) پیچ در اثر بار افزایش طول داده است. فرض کنید P_b بخشی از بار باشد که توسط پیچ تحمل می‌شود، و P_p بخش باقیمانده بار باشد که توسط قطعه تحمل می‌شود. تغییر شکل پیچ برابر با P_b / k_b و تغییر شکل قطعه برابر با P_p / k_p است. به دلیل نوع چیدمان عضوها در شکل (۸-۵)، این تغییر شکلها برابر هستند می‌توانیم بنویسیم

$$\frac{P_b}{k_b} = \frac{P_p}{k_p} \quad (a)$$

با قرار دادن $P - P_b$ بجای P_p نتیجه می‌شود

$$P_b = \frac{k_b}{k_b + k_p} P \quad (\text{کشش در پیچ}) \quad (b)$$

$$P_p = \frac{k_p}{k_b + k_p} P \quad (\text{کشش در قطعه}) \quad (c)$$

حال فرض کنید مهره را با آچار سفت‌تر کنیم و بدین ترتیب نیروی کششی دیگری مانند F_0 را در آن ایجاد کنیم. حال نیروی کششی کل در مهره بصورت زیر است

$$F_b = \frac{k_b}{k_b + k_p} P + F_0 \quad (5)$$

نیروی کششی کل در مهره یا پیچ

با سفت کردن مهره، ضمن اینکه نیروی کششی F_0 در پیچ ایجاد می‌شود، یک نیروی فشاری برابر با F_0 و مخالف با آن (از نظر جهت) در قطعه بوجود می‌آید. حال نیروی برآیند در قطعه بصورت زیر نوشته می‌شود

$$F_p = \frac{k_p}{k_b + k_p} P - F_0 \quad (6)$$

نیروی کششی حامل از سفت کردن مهره / نیروی برآیند در قطعه

معمولاً در چنین سیستم‌هایی پیش از وارد کردن بار P ، نیروی اولیه F_0 را در سیستم القا می‌کنند. البته معادلات (۵) و (۶) به همین شکل صدق می‌کنند و تغییری در آنها بوجود نمی‌آید. نیروی اولیه F_0 در معادله (۶) بصورت یک عدد مثبت جاگذاری می‌شود و مقدار آن همواره بقدری بزرگ است که نتیجه بدست آمده برای نیروی F_p قطعه منفی (فشاری) است، در نتیجه جوش موقتی قطعه به تکیه‌گاه لازم نمی‌شود. اگر P بقدری بزرگ باشد که بر همه نیروی فشاری قطعه فائق آید، از معادلات (۵) و (۶) استفاده نمی‌شوند. زیرا در این شرایط کل نیروی P فقط توسط پیچ تحمل می‌شود.

نیروی پیچ موقعی ماکزیمم می‌شود که بار P ماکزیمم باشد. همینطور، نیروی پیچ موقعی مینیمم می‌شود که بار مینیمم باشد. نیروی میانگین F_{bav} برابر با نصف مجموع نیروهای F_{bmin} و F_{bmax} است. بنابراین

$$F_{bav} = \frac{k_b}{k_b + k_p} P_{av} + F_0 \quad (7)$$

نیروی میانگین پیچ

دامنه تغییرات نیروی پیچ برابر با نصف تفاضل F_{bmin} و F_{bmax} است. بنابراین می‌توان نوشت

$$F_{br} = \frac{k_b}{k_b + k_p} P_r \quad (8)$$

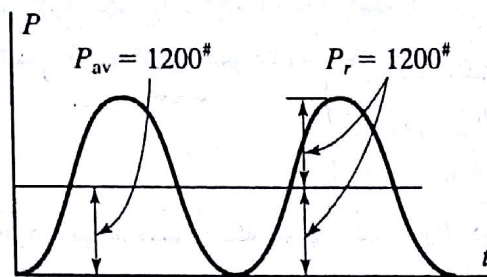
دامنه تغییرات نیروی پیچ

نیروی فشاری مینیمم در قطعه به ازای بار P ماکزیمم ایجاد می‌شود

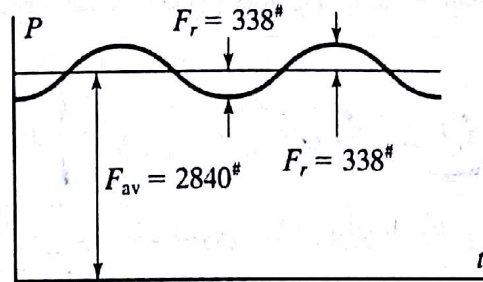
$$F_{pmin} = \frac{k_p}{k_b + k_p} P_{max} - F_0 \quad (9)$$

اگر بار P متغیر باشد، استفاده از نیروی کششی اولیه کافی برای کاهش دادن اثرات خستگی نیروی متغیر در پیچ بسیار مفید می‌شود.

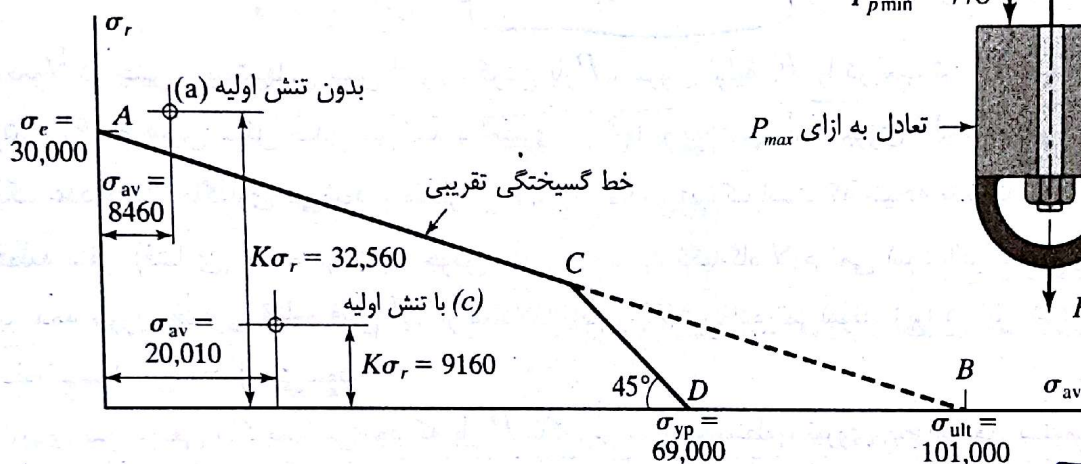
✎



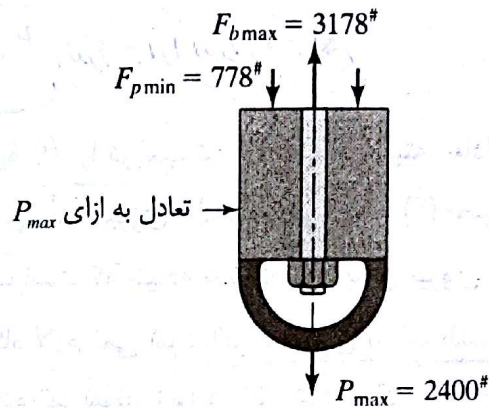
بار وارده بر قطعه



تغییرات نیرو در پیچ



تنش پیچ



شکل ۵-۹: بارها و تنش‌های پیچ مثال ۵-۲.

$$\frac{\sigma_{av}}{\sigma_{ult}} + \frac{K\sigma_r}{\sigma_e} = \frac{1}{F_s}$$

در مورد بار متغیر، نیروی ماکزیمم پیچ، با جاگذاری مقدار ماکزیمم در معادله (۵) بدست می‌آید. همینطور، با استفاده از مقدار مینیمم بار P ، نیروی مینیمم پیچ بدست می‌آید. وجود نیروی اولیه در سیستم باعث مقدار کمی افزایش در نیروی ماکزیمم پیچ (نسبت به حالتی که تنش اولیه وجود ندارد) و مقدار زیادی افزایش در نیروی مینیمم آن می‌شود. در نتیجه، دامنه تغییر نیروی ناشی از بار P به مقدار زیادی کاهش پیدا می‌کند. می‌دانیم با کاهش دامنه تغییرات تنش متغیر، آثار خستگی نیز کاهش پیدا می‌کند.

با تقسیم نیروی میانگین $F_{b(av)}$ و نیروی متغیر $F_{b(r)}$ بر سطح تنش، به ترتیب، تنش میانگین σ_{av} و تنش رنج σ_r به دست می‌آید. چون تنش‌ها به طور پیوسته تغییر می‌یابند، σ_{av} و $K\sigma_r$ را روی نمودار اصلاح شده گودمن (Goodman)، به همان ترتیبی که در فصل (۲) ارائه شد، رسم می‌کنیم و طراحی را بر اساس این نمودار انجام می‌دهیم. کاربرد این روش با استفاده از شکل (۵-۹) در مثال زیر ارائه شده است.

مثال ۵-۲

فرض کنید پیچ شکل (۵-۹) دارای مشخصات $1/2 \text{ in} \times 13 \text{ UNC}$ باشد. طول پیچ و مهره با هم برابر است. قسمت دنداندار در سطح بالایی مهره تمام شده است. دنداندارهای پیچ سنگ زنی شده است و نقطه تسلیم ماده پیچ برابر با 69000 psi و مقاومت پارگی (نهایی) آن 101000 psi است. ضریب تمرکز تنش دنداندارهای پیچ را برابر با ۳.۸۵ در نظر بگیرید. مساحت مقطع قطعه فولادی 0.5 in^2 است. بار وارده میان صفر و ۲۴۰۰ lb به طور پیوسته تغییر می‌کند. مقدار σ_e را برابر با 30000 psi در نظر بگیرید.

- (الف) مقدار F_S پیچ را موقعی که فاقد هر گونه نیروی اولیه است بدست آورید.
- (ب) مقدار حداقل F_0 را طوری تعیین کنید که از کاهش تنش فشاری در قطعه جلوگیری شود.
- (ج) مقدار F_S را به ازای $F_0 = 2500 \text{ lb}$ به دست آورید.
- (د) نیروی حداقل قطعه را به ازای بارگذاری داده شده و $F_0 = 2500 \text{ lb}$ به دست آورید.

اطلاعات داده شده: مشخصات پیچ از نوع $1/2 - 13 \text{ UNC}$ است و دندانهای آن سنگ زنی شده است. برای ماده پیچ $\sigma_{yp} = 69000 \text{ psi}$ ، $\sigma_u = 101000 \text{ psi}$ ، $\sigma_e = 30000 \text{ psi}$ و $K = 3.85$ است. قطعه فولادی دارای مقطعی به مساحت 0.5 in^2 است. بار وارده میان صفر و 2400 lb تغییر می‌کند. فرضها: پیچ دارای تنش اولیه است. پیچ و مجموعه بار وارده را تحمل می‌کنند. روش حل: از معادلات (۷)، (۸) و (۹) و اطلاعات جدول (۵-۱) استفاده می‌کنیم. جزئیات حل: (الف) از جدول (۵-۱) داریم $0.1419 \text{ in}^2 = \text{سطح تنش}$ برای حالتی که قطعه به طور شل نگهداشته شده، به عبارت دیگر موقعی که F_0 صفر است، بار پیچ برابر با بار قطعه است بنابراین

$$P_{av} = 1200 \text{ lb}; \sigma_{av} = \frac{1200}{0.1419} = 8460 \text{ psi}$$

$$P_r = 1200 \text{ lb}; K\sigma_r = 3.85 \times \frac{1200}{0.1419} = 32560 \text{ psi}$$

پس از رسم σ_{av} و $K\sigma_r$ مانند شکل (۹-۵)، می‌بینیم بارگذاری پیچ نامطمئن (از مقدار مجاز بیشتر) است. (ب) اگر طول و مدول کشسانی دو جسم با هم برابر باشند، ثابت‌های فنری آنها متناسب با مساحت‌های مقطع شان خواهد بود.

$$(\text{مساحت مقطع بزرگ پیچ}) = \frac{\pi}{4} \left(\frac{1}{2} \right)^2 = 0.1964 \text{ in}^2$$

برای حالتی که $F_{P(\min)}$ برابر صفر است، از معادله (۹) داریم

$$F_0 = \frac{k_p}{k_b + k_p} P_{\max} = \frac{0.5}{0.6964} \times 2400 = 1720 \text{ lb}$$

این مقدار، مینیمم تئوریک برای F_0 است.

(ج) از معادله (۷) داریم

$$F_{bav} = \frac{k_b}{k_b + k_p} P_{av} + F_0 = \frac{0.1964}{0.6964} \times 1200 + 2500 = 2840 \text{ lb}$$

$$\sigma_{av} = \frac{2840}{0.1419} = 20101 \text{ psi}$$

از معادله (۸) داریم

$$F_{br} = \frac{k_b}{k_b + k_p} P_r = \frac{0.1964}{0.6964} \times 1200 = 338 \text{ lb} ; \sigma_r = \frac{338}{0.1419} = 2380 \text{ psi}$$

با استفاده از معادله گودمن در فصل (۴) می‌توان نوشت

$$\frac{\sigma_{av}}{\sigma_{ult}} + \frac{K\sigma_r}{\sigma_e} = \frac{1}{F_s} \rightarrow \frac{20010}{101000} + \frac{9160}{30000} = \frac{1}{F_s} \rightarrow F_s = 1.99$$

(د) با استفاده از معادله (۹) داریم

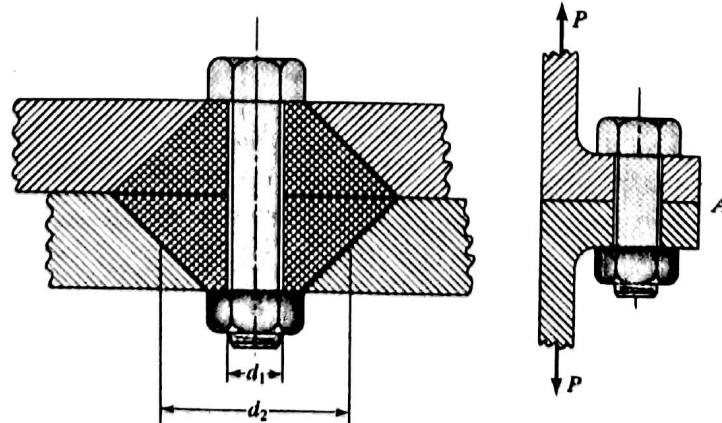
$$F_{pmin} = \frac{k_p}{k_b + k_p} P_{max} - F_0 = \frac{0.5}{0.6964} \times 2400 - 2500 = -780 \text{ lb}$$

همانگونه که مشاهده می‌کنید، تنش اولیه شرایط را به قدری تغییر داده که ضریب اطمینان برای نیروی پیچ قابل قبول شده است.

۵-۸ نکات دیگر در رابطه با طراحی

موقعی که از پیچ‌ها برای بستن صفحات بزرگ استفاده می‌کنیم، اثر حاصل از بستن محدود به ناحیه مجاور پیچ‌ها می‌شود. همانگونه که در شکل (۵-۱۰a) می‌بینید، ناحیه متأثر از نیروی بستن را می‌توان تقریباً بصورت دو مخروط متصل بهم و محیط بر پیچ در نظر گرفت. مولد این مخروطها نسبت به سر و بدنه پیچ تحت 45° قرار دارند. بنابراین ثابت فنری k_p آنرا می‌توان مساوی ثابت فنری استوانه‌ای توخالی با قطر داخلی d_1 و قطر خارجی d_2 فرض کرد. عبارت از قطر دایره نظیر نقطه وسط مولد مخروط است. اگر مطابق شکل (۵-۱۰b) نیرو به خارج از مرکز پیچ وارد شود، موجب نیروی خمش در پیچ می‌شود. بدین ترتیب بار پیچ از P بیشتر می‌شود و مقدار آن را می‌توان از طریق ممان‌گیری نسبت به A بدست آورد.

اگر دو قطعه صلب را توسط پیچ و مهره بهم ببندیم، برای بوجود آوردن نیروی اولیه F_0 افزایش طول خیلی کمی در پیچ لازم خواهد شد، به شکل (۵-۱۱a) توجه کنید. اگر بر اثر بار وارده در سطوح تماس سر پیچ و مهره با صفحات خزش و یا گودی ایجاد شود، ممکن است افزایش طول اولیه پیچ و در نتیجه نیروی F_0 از بین بروند. همچنین بر اثر سایش، خوردگی، از بین رفتن روکش فلز و غیره ممکن است ضخامت صفحات کاهش یابند. این عیوب را می‌توان با گذاشتن واشر فنری مطابق شکل (۵-۱۱b) از بین برد. تغییر طول واشر فنری بر اثر نیروی F_0 ممکن است چند برابر افزایش طول ایجاد شده در پیچ باشد. همچنین در حین کار، امکان دارد قطعه به اندازه ناچیزی کوتاه شود، اما در صورت وجود واشر فنری این موضوع تأثیر کمتری در مقدار F_0 دارد و حتی می‌توان آنرا بی‌تأثیر فرض کرد.

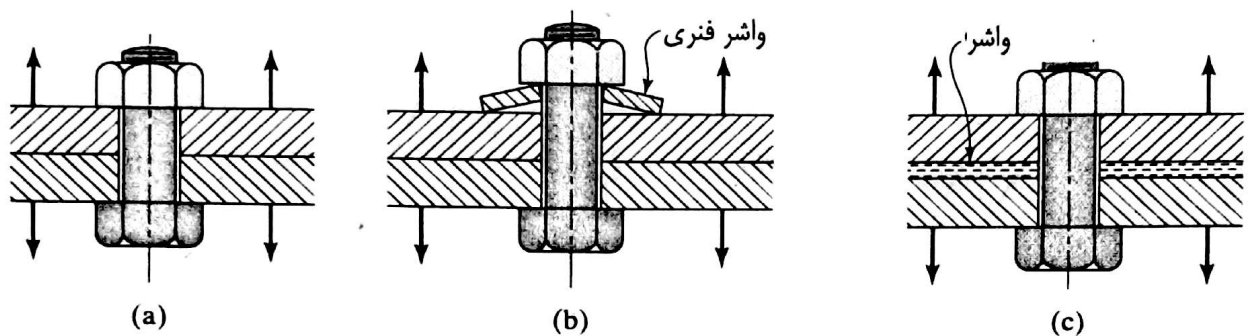


(a) روش تعیین ثابت فنری تقریبی صفحات (b) پیچ تحت بار خارج از مرکز

شکل ۵-۱۰: ضرایب دیگر لازم برای طراحی سیستمهای با اتصالات پیچی

البته فرض می‌شود واشر فنری در ناحیه الاستیک عمل می‌کند و کاملاً فشرده نمی‌شود. قفل معمولی که در موقع بستن پیچ بطور کامل فشرده می‌شود در کاهش دامنه تغییرات بار پیچ اثری ندارد. در حقیقت چنین وسایلی بدلیل دادن تغییر شکل پلاستیک و بدنبال آن کاهش دادن مقدار تنش اولیه، مضر هستند. یاد آور می‌شویم این تغییر شکل پلاستیک معمولاً در نقاط مرتفع تر این وسایل رخ می‌دهد.

در شکل (۵-۱۱C) واشری بین دو صفحه گذاشته شده است. سخت و یا نرم بودن واشر مقدار k_p را تغییر می‌دهد. واشر نرم باعث کاهش مقدار نهایی k_p شده و نتیجتاً موجب می‌شود قسمت بیشتری از بار P توسط پیچ تحمل شود. لازم به ذکر است هر گونه تغییر شکل دائمی ایجاد شده در واشر موجب کاهش نیروی اولیه F_0 می‌شود. برای حفظ نیروی اولیه، لازم است مهره را هر از گاهی سفت کنیم.

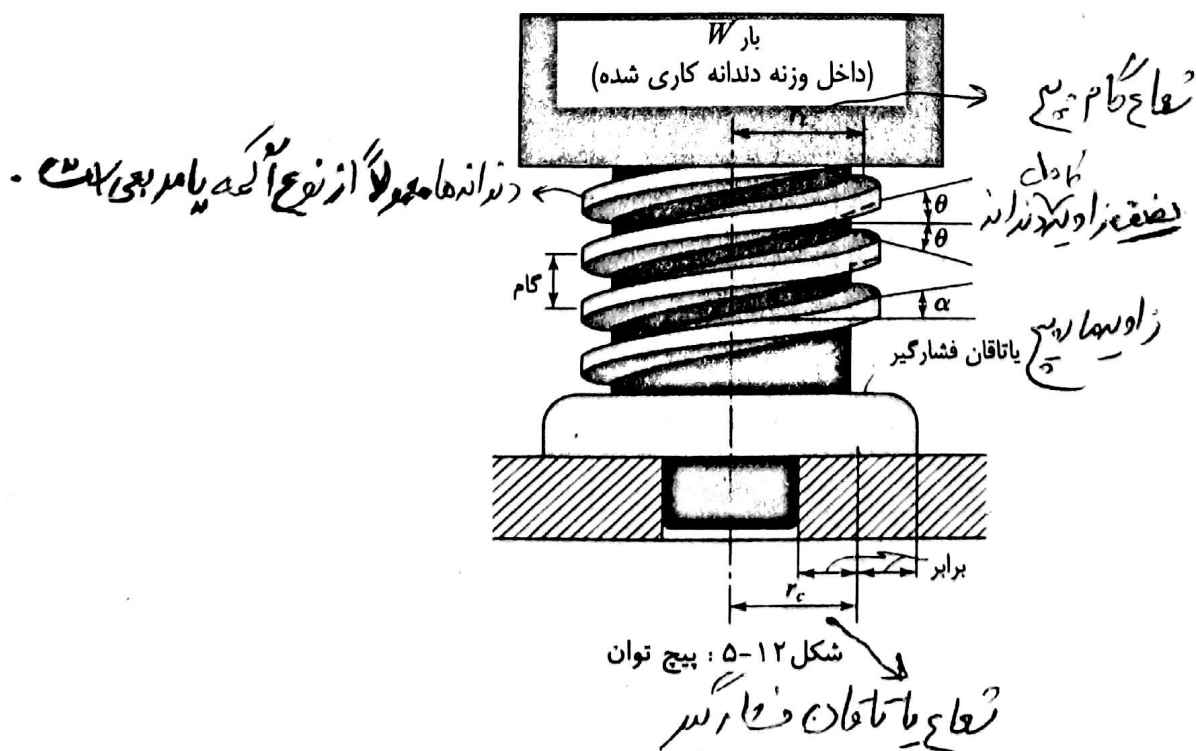


شکل ۱۱-۵: انواع اتصالات توسط پیچ و مهره

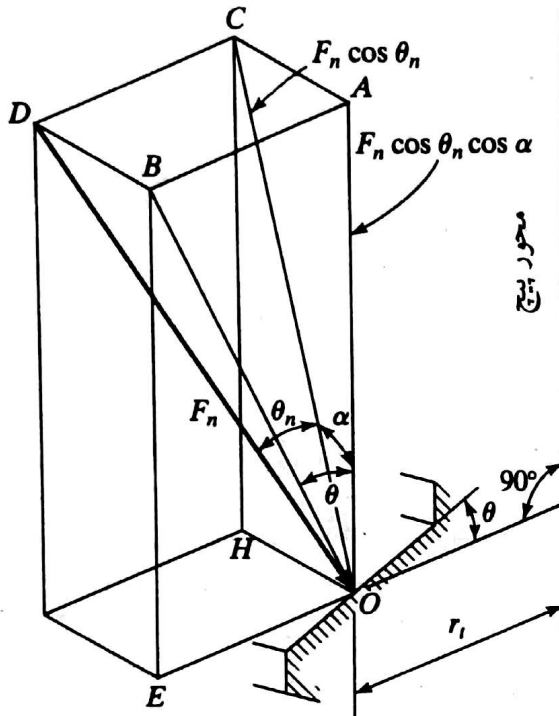
شرکت فولاد بیلهم برای کاربردهای ساختمانی نوعی واکس از جنس فولاد سخت ساخته است. این واکس بر اثر فشار پیچ بیرون می‌زند و مقدار بار اولیه پیچ را نشان می‌دهد.

۵-۹ پیچهای توان

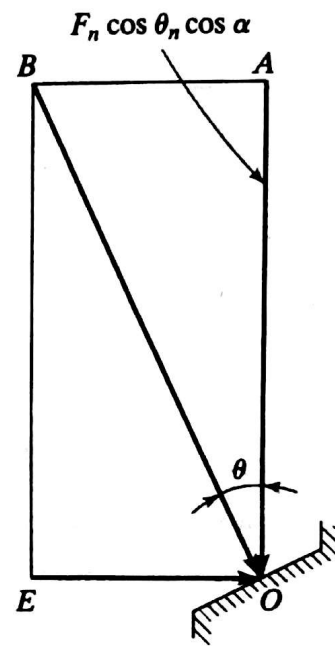
معمولاً از پیچهای توان برای بلند کردن وزنه و یا اعمال نیرو در ماشینها استفاده می‌شود. در شکل ۱۲-۵ وزنه‌ای W را ملاحظه می‌کنید. داخل این وزنه دندانه کاری شده است. با گرداندن پیچ توان، این وزنه به بالا یا به پایین حرکت می‌کند، البته به شرطی که از حرکت گردشی وزنه جلوگیری گردد.



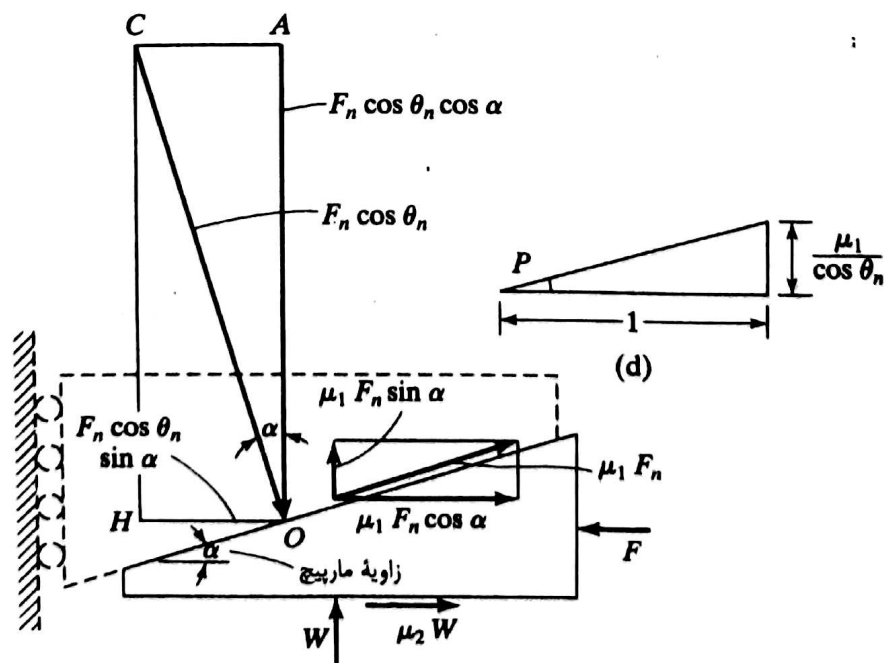
حال معادله‌ای را برای پیدا کردن گشتاور لازم جهت بلند کردن وزنه، استخراج می‌کنیم. کل نیروهای دندان‌های پیچ را توسط یک نیروی F_n مطابق شکل (۵-۱۳a) جایگزین می‌کنیم. این نیرو بر سطح دندان پیچ عمود است و قطر یک متوازی‌السطوح را تشکیل می‌دهد. سطح $ABEO$ یک مقطع محوری از پیچ است. تصویر F_n در روی این صفحه، به اندازه θ یا نصف زاویه کامل دندان مایل است. سطح $ACHO$ در صفحه‌ای مماس بر استوانه گام پیچ قرار دارد. تمایل تصویر F_n در روی این صفحه برابر با زاویه مارپیچ α (زاویه مارپیچ محاسبه شده در شعاع گام پیچ) است. بطوری که در تصویر (۵-۱۳c) نشان داده شده، طول این مولفه برابر با $F_n \cos \theta_n$ است و خودش دارای مولفه‌های عمودی و افقی است.



(a) متوازی السطوح نیروها



(b) مقطع محوری



(c) صفحه مماسی

شکل ۵-۱۳: نیروهای عامل بر پیچ موقع بلند کردن وزنه W

شکل گسترده مارپیچ یک پیچ، بصورت یک صفحه مایل با زاویه تمایلی برابر با زاویه مارپیچ α است. بنابراین قطعه مثلی شکل تحتانی همان دندانهای است که با نیروی F به سمت چپ حرکت و وزنه را بلند می‌کند. کل نیروی اصطکاک در راستای دندان پیچ مساوی $\mu_1 F_n$ است. در این عبارت (μ_1) ضریب اصطکاک دندان است. نیروی $\mu_1 F_n$ دارای مولفه‌های عمودی و افقی نشان داده شده در شکل است. مقدار نیروی عکس‌العمل رو به بالای یاتاق فشارگیر برابر با W است. در موقع حرکت پیچ نیروی اصطکاک مقاوم $\mu_2 W$ بوجود می‌آید. در این رابطه (μ_2) ضریب اصطکاک یاتاقان فشارگیر است. فرض کنید نیروی F برای ایجاد حرکت، بطرف چپ کافی باشد. با جمع کردن نیروهای عمودی در تصویر C می‌توان نوشت

$$F_n \cos \theta_n \cos \alpha = \mu_1 F_n \sin \alpha + W$$

$$F_n = \frac{W}{\cos \theta_n \cos \alpha - \mu_1 \sin \alpha} \quad (10)$$

همه نیروهای دندان و نیروی F در شعاع گام (r_t) پیچ اثر می‌کنند. نیروی اصطکاک یاتاق فشارگیر در شعاع (r_c) (نقطه وسط سطح حلقوی قاعده پیچ) اثر می‌کند. گشتاور پیچشی لازم برای بلند کردن وزنه، با ضرب کردن نیروهای افقی در شعاعهای مربوط بدست می‌آید. بنابراین

$$T = Fr_t = r_t (F_n \cos \theta_n \sin \alpha + \mu_1 F_n \cos \alpha) + r_c \mu_2 W$$

با جاگذاری مقدار F_n از معادله بالا خواهیم داشت

$$T_{raise} = W \left(r_t \frac{\cos \theta_n \sin \alpha + \mu_1 \cos \alpha}{\cos \theta_n \cos \alpha - \mu_1 \sin \alpha} + r_c \mu_2 \right) \quad (11)$$

گشتاور لازم برای بلند کردن وزنه

$$= W r_t \left(\frac{\cos \theta_n \tan \alpha + \mu_1}{\cos \theta_n - \mu_1 \tan \alpha} + \frac{r_c}{r_t} \mu_2 \right) \quad (12)$$

اندیس $raise$ به معنی بالا بر می‌باشد. پیشروی (گام حقیقی) پیچ که با L نشان داده می‌شود به صورت زیر بر حسب زاویه مارپیچ (α) تعریف می‌شود

$$\tan \alpha = \frac{L}{2\pi r_t}$$

حال می‌توانیم گشتاور پیچشی لازم برای بلند کردن بار را بر حسب پیشروی L به صورت زیر تعریف کنیم

$$T_{raise} = W r_t \left(\frac{L \cos \theta_n + 2\pi r_t \mu_1}{2\pi r_t \cos \theta_n - \mu_1 L} + \frac{r_c}{r_t} \mu_2 \right) \quad (12a)$$

با استفاده از شکل (۵-۱۳) می‌توان رابطه زیر را میان θ_n و زاویه دندان θ برقرار کرد

$$\tan \theta_n = \frac{CD}{OC} = \frac{AB}{OC} \quad (a)$$

$$AB = AO \tan \theta, \quad CO = \frac{OA}{\cos \alpha}$$

اکنون با جاگذاری این مقادیر در معادله a می‌توان نوشت

$$\tan \theta_n = \tan \theta \cos \alpha \quad (13)$$

معادلات (۱۱) و (۱۲) مقدار گشتاور لازم برای بلند کردن وزنه را با در نظر گرفتن اصطکاک‌های دندانه و سطح حلقوی یاتاقان فشارگیر (کف گرد) بدست می‌دهند. در بعضی موارد، یاتاقان فشارگیر از نوع ضد اصطکاک (جلبرینگی) است. در این گونه موارد مقدار μ_2 بقدری کوچک است که می‌توان از آن صرف‌نظر کرد. با صرف‌نظر از ضریب اصطکاک، معادلات بالا فقط شامل عبارات μ_1 خواهند بود.

مثال ۳-۵

قطر خارجی (قطر بزرگ) یک پیچ آکمه چهار دندانه‌ای برابر با 1 in. و گام آن 0.200 in. است. شعاع‌های بزرگ و کوچک یاتاقان فشارگیر به ترتیب برابر 1.5 و 0.5 in. هستند. گشتاور پیچشی لازم برای بلند کردن بار 1000 lb را بدست آورید. فرض کنید $\mu_1 = \mu_2 = 0.12$ باشند.

اطلاعات داده شده: $OD = 1 \text{ in.}$ ؛ دارای چهار دندانه؛ $P = 0.2 \text{ in.}$ ؛ شعاع‌های خارجی و داخلی یاتاقان فشارگیر به ترتیب برابر با 1.5 in. و 0.5 in. هستند. $\mu_1 = \mu_2 = 0.12$ ؛ $W = 1000 \text{ lb}$.
فرضها: معادلات پیچ‌های توان قابل استفاده هستند.
روش حل: از معادلات (۱۲) و (۱۳) و خواص هندسی شکل (۵-۱) استفاده می‌کنیم.
جزئیات حل:

$$\theta = \frac{1}{2} \times 29^\circ = 14^\circ 30'$$

از شکل (۵-۱) داریم

$$\text{قطر گام} = 1.000 - 0.5p = 0.900 \text{ in}$$

$$r_f = 0.45 \text{ in}$$

$$\tan \alpha = \frac{4 \times 0.200}{0.900\pi} = 0.28294 \quad ; \quad \alpha = 15^\circ 48'$$

از معادله (۱۳) داریم

$$\tan \theta_n = 0.25862 \times 0.96222 = 0.24885 \quad ; \quad \theta_n = 13^\circ 58.5'$$

با استفاده از معادله (۱۲) می‌توان نوشت

$$T_{\text{raise}} = 1000 \times 0.450 \left(\frac{0.97040 \times 0.28294 + 0.12}{0.97040 - 0.12 \times 0.28294} + \frac{1.00}{0.45} \times 0.12 \right) = 309.6 \text{ in. lb}$$

معادله (۱۳) نشان می‌دهد برای پیچ‌های استاندارد که دارای زاویه مارپیچ α کوچکی هستند، مقدار θ_n تقریباً برابر θ است. در این شرایط می‌توان در معادلات بالا بجای θ_n ، نصف زاویه کامل دندانه پیچ را قرار داد. اگر در شکل (۵-۱۳) جهت نیروی F را به سمت راست عوض کنیم، وزنه بطرف پایین حرکت میکند. در اینحالت نه تنها

جهت نیروی F ، بلکه علامت‌های همه عبارات اصطکاکی معکوس می‌شوند. با طی مراحل قبل، معادلات گشتاور لازم برای پایین آوردن وزنه بصورت زیر بدست می‌آید

$$T_{lower} = W r_t \left(\frac{\mu_1 - \cos \theta_n \tan \alpha}{\cos \theta_n + \mu_1 \tan \alpha} + \frac{r_c}{r_t} \mu_2 \right) \quad (14)$$

در این معادله، جهت گشتاور پیچشی T_{lower} مخالف جهت T_{raise} در معادله (۱۲) است. در واقع معادله (۱۴) را می‌توان از معادله (۱۲) بدست آورد. برای اینکار کافی است علامت عبارت T_{raise} و علامت‌های ضرایب اصطکاک μ_1 و μ_2 را عوض کنیم. با روش مشابه معادله (۱۲ a)، می‌توان معادله (۱۴) را به ترتیب زیر بدست آورد

$$T_{lower} = W r_t \left(\frac{\mu_1 2\pi r_t - L \cos \theta_n}{2\pi r_t \cos \theta_n + \mu_1 L} + \frac{r_c}{r_t} \mu_2 \right) \quad (14a)$$

مثال ۴-۵

در مورد پیچ اکمه مثال ۳-۵ گشتاور لازم برای پایین آوردن بار را به دست آورید.

اطلاعات داده شده: $OD = 1 \text{ in}$ ؛ پیچ اکمه چهار دندانه؛ $p = 0.2 \text{ in}$ ؛ شعاعهای خارجی و داخلی به ترتیب برابر با 1.5 in و 0.5 in است؛ $W = 1000 \text{ lb}$ ؛ $\mu_1 = \mu_2 = 0.12$.

فرضها: معادلات پیچ توان برای این مسئله قابل استفاده هستند.

روش حل: از معادله (۱۴) استفاده خواهیم کرد.

جزئیات حل:

بااستفاده از معادله (۱۴) داریم

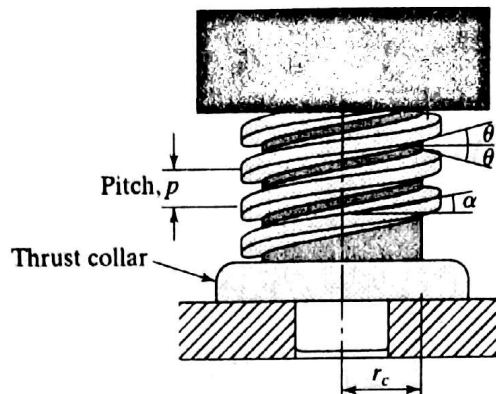
$$\begin{aligned} T_{lower} &= 1000 \times 0.450 \left(\frac{0.12 - 0.97040 \times 0.28294}{0.97040 + 0.12 \times 0.28294} + \frac{1.00}{0.45} \times 0.12 \right) \\ &= 450 \left(-\frac{0.15459}{1.00436} + 0.26667 \right) = 50.7 \text{ in} \cdot \text{lb} \end{aligned}$$

یاد آور می‌شویم که هم این مثال و هم مثال (۳-۵) را می‌توانستیم با استفاده از معادلات (۱۲) و (۱۴)، به دست آمده در مدول صفحه گسترده (۱-۵)، حل کنیم. برای مثال داریم

Click here for instructions on how to use this spreadsheet.

Click here to learn more about this spreadsheet.

Module 5-1 Torques required to operate a power screw.



$W =$	1000	lbf	▼	Load to be lifted
$N_t =$	4.00			Number of threads
$p =$	0.20	in.		Pitch of the screw
$r_t =$	0.45	in.		Screw pitch radius
$\theta =$	14.50	degrees		Thread angle
$r_c =$	1.00	in.		Mean collar radius
$\mu_1 =$	0.12			Coefficient of thread friction
$\mu_2 =$	0.12			Coefficient of collar friction
Intermediate values computed:				
$L =$	0.8	in.		Lead of screw
$\alpha =$	15.80	degrees		Helix angle
$\theta_n =$	13.97	degrees		Normal thread angle
Results found:				
$T_{raise} =$	309.6	in. lbf.		Raising torque (Eqn. 12a)
$T_{lower} =$	50.7	in. lbf.		Lowering torque (Eqn. 14)
If the lowering torque is negative, the system is overhauling. When this happens, a means must be provided to lock the system in place.				

همانگونه که مشاهده می‌کنید طرف راست معادله (۱۴) از دو قسمت تشکیل شده است. اولین قسمت این معادله گشتاور پیچشی لازم برای غلبه بر اصطکاک لغزشی پیچ، و قسمت دوم آن گشتاور پیچشی لازم برای غلبه بر اصطکاک یاتاقان فشارگیر است. مقدار جمله اول با افزایش زاویه مارپیچ کاهش می‌یابد. مقدار این جمله در نهایت به صفر می‌رسد. با ادامه افزایش این زاویه، جمله اول منفی می‌شود و قدر مطلق آن به قدری افزایش می‌یابد که علامت جمله گشتاور عوض می‌شود. موقعی که این حالت اتفاق می‌افتد، بار وارده قادر به چرخاندن پیچ در جهت

معکوس می‌شود و در نتیجه به بار سمت پایین حرکت می‌کند. حالت پایین آمدن بار بر اثر وزن خود راحت برگشت بار می‌نامند. گشتاور پیچشی لازم برای جلوگیری از وقوع حالت برگشت از رابطه زیر بدست می‌آید

$$T_3 = W r_t \left(\frac{\cos \theta_n \tan \alpha - \mu_1}{\cos \theta_n + \mu_1 \tan \alpha} - \frac{r_c}{r_t} \mu_2 \right) \quad (15)$$

زاویه بحرانی α که در آن حالت برگشت بار اتفاق می‌افتد با مساوی صفر قرار دادن مقدار T_{lower} به دست می‌آید. برای جلوگیری از وقوع حالت برگشت بار، لازم است شرط زیر برقرار باشد

$$\tan \alpha \leq \frac{\frac{r_c}{r_t} \mu_2 \cos \theta_n + \mu_1}{\cos \theta_n - \frac{r_c}{r_t} \mu_2 \mu_1}$$

برای حالتی که در آن $\mu_2 = 0$ است (در حالتی که اصطکاک یاتاقان فشارگیر یا طوقه صفر می‌شود)، نامعادله

$$\tan \alpha \leq \frac{\mu_1}{\cos \theta_n}$$

میان زاویه مارپیچ پیچ، ضریب اصطکاک پیچ و زاویه قائم دندان پیچ (θ_n) برقرار است. حالت توصیف شده توسط این نامعادله غالباً به (فتار خود قفلی) اشاره دارد. یک پیچ توان را موقعی خود قفل می‌نامند که در این نامعادله صدق کند و تحت شرایط استاتیک، به بار اجازه برگشت (پایین آمدن) ندهد. یادآور می‌شویم که اگر بار وارد بر پیچ متغیر یا نوسانی باشد ممکن است در شرایط برقرار بودن نامعادله بالا نیز پیچ بطور معکوس بچرخد و اجازه دهد بار به سمت پایین حرکت کند.

مثال ۵-۵

یک پیچ دندانه مربعی تک گام دارای قطر گام 1.75 in و گام 0.875 in است. ضریب اصطکاک $\mu_1 = 0.10$ است. اصطکاک یاتاقان فشارگیر پیچ قابل صرفنظر است. مقدار اسب بخار لازم برای بالا بردن وزنه 3000 lb با سرعت 20 ft/min را به دست آورید.

اطلاعات داده شده: $d_p = 1.75 \text{ in}$ ؛ دندانه پیچ از نوع مربعی است؛

$$p = 0.875 \text{ in} ; W = 3000 \text{ lb} ; V = 20 \text{ ft/min} ; \mu_1 = 0.10 ; \mu_2 = 0$$

فرضها: معادلات مربوط به پیچ توان برای حل این مسئله قابل استفاده هستند.

روش حل: از معادله (۸) فصل ۱۳، معادله (۱۲) و خواص هندسی شکل (۵-۱) استفاده می‌کنیم.

جزئیات حل:

$$r_t = \frac{1}{2} \times 1.75 = 0.875 \text{ in.} ; \cos \theta = 1$$

برای پیچ دندانه مربعی

$$\tan \alpha = \frac{p}{\pi d_p} = \frac{0.875}{1.75 \pi} = 0.15916$$

از معادله (۱۲) داریم

$$T_{raise} = 3000 \times 0.875 \left(\frac{1 \times 0.15916 + 0.10}{1 - 0.1 \times 0.15916} \right) = 691.3 \text{ in. lb}$$

سرعت دورانی پیچ بر حسب دور بر دقیقه (rpm) به صورت زیر حساب می‌شود

$$n = \frac{20 \times 12}{0.875} = 274.3 \text{ rpm}$$

با استفاده از معادله (۸) فصل ۱۳ می‌توان نوشت

$$hp = \frac{T n}{63025} = \frac{691.3 \times 274.3}{63025} = 3.01$$

اگر نیروهای اصطکاکی هم در پیچ و هم در یاتاقان فشارگیر پیچ صفر فرض باشند، مطابق معادله (۱۲) گشتاور لازم برای بالا بردن بار به صورت زیر خواهد بود

$$T' = r_f W \tan \alpha \quad (16)$$

راندمان پیچ توان مجهز به یاتاقان فشارگیر در موقعی که بار را بلند می‌کند برابر با نسبت گشتاورهای پیچشی معادلات (۱۲) و (۱۶) است. بنابراین، برای هر دوی پیچ و یاتاقان فشارگیر آن داریم

$$(راندمان) = \frac{T'}{T_{raise}} \quad (17)$$

اگر اصطکاک یاتاقان قابل صرفنظر باشد، معادله زیر تنها برای راندمان پیچ به دست می‌آید

$$(راندمان) = \frac{\cos \theta_n - \mu_1 \tan \alpha}{\cos \theta_n + \mu_1 \cot \alpha} \quad (18)$$

منحنی‌های مربوط به راندمان‌های بدست آمده از معادله (۱۸) به ازای مقادیر مختلف μ_1 در شکل (۱۴-۵) رسم شده است. یادآور می‌شویم موقعی که مقدار زاویه مارپیچ به زوایای 0 یا 90° نزدیک است، راندمان مکانیکی پیچ قدرت بسیار کم است.

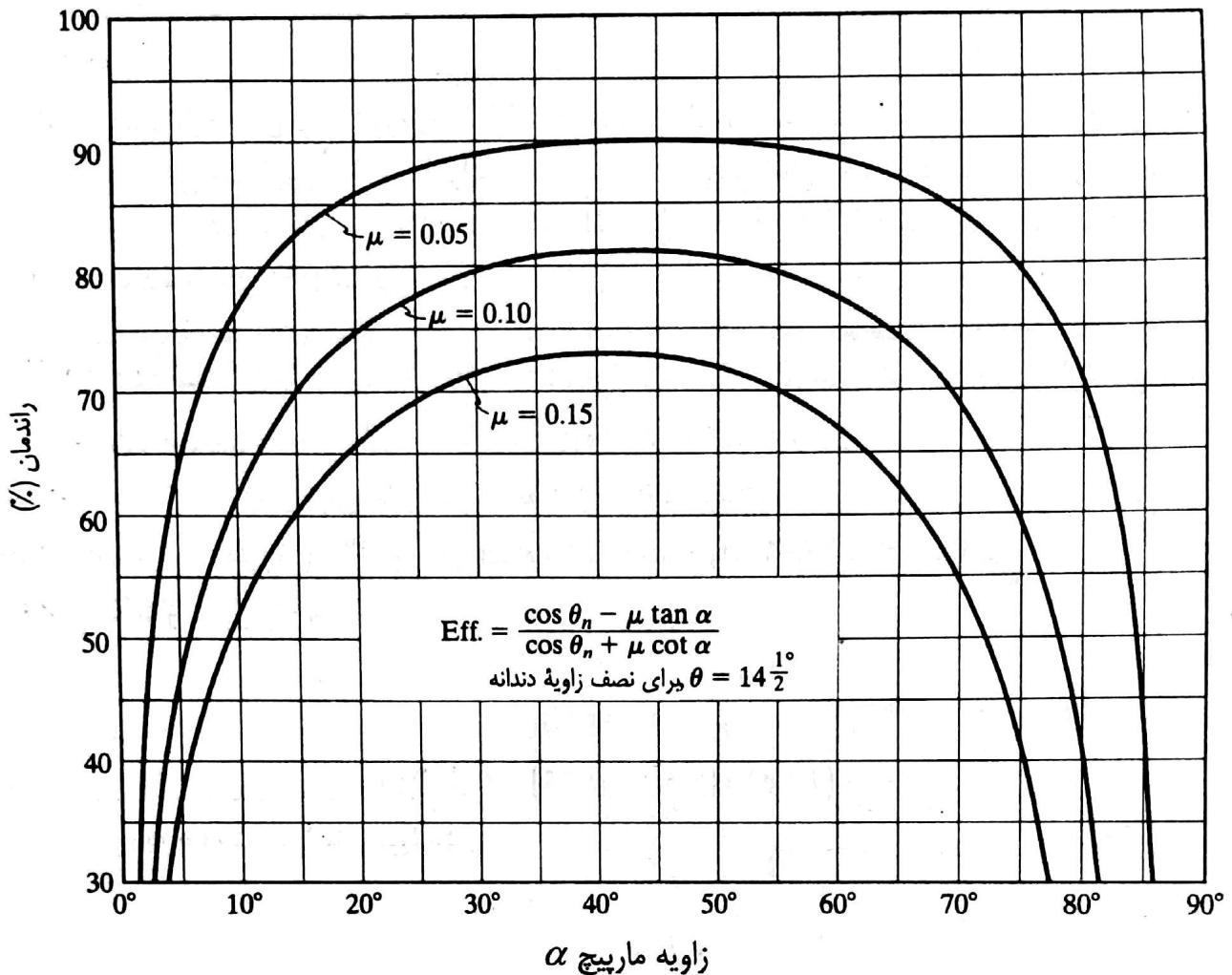
مقدار اصطکاک بین دندانه‌ها، و همچنین بین مهره و سطوح تماس آن به عوامل مختلفی از قبیل کیفیت سطح، شرایط روغنکاری، میزان هم محوری، جنس ماده، نوع آبکاری سطح ماده، پلیسه‌ها و غیره بستگی دارد. محاسبات تعیین مقدار نیروی اولیه لازم در پیچ نیز به این عوامل بستگی دارد. زیرا این عوامل بر ضریب اصطکاک اثر دارند. اگرچه از آچار گشتاوری بیشتر استفاده می‌شود، اما این وسیله نیز برای ایجاد نیروی القایی یا نیروی اولیه دقیق در پیچ به قدر کافی قابل اطمینان نیست.

بهترین روش این است که در صورت امکان مقدار افزایش طول پیچ را اندازه بگیریم. همچنین می‌توان از زاویه گردش مهره استفاده کرد. بدین صورت که اول مهره را به طور محکم سفت می‌کنیم تا قطعات کاملاً روی یکدیگر بخوابند، سپس مهره را شل کرده و با دست سفت می‌کنیم. بعد از این عمل مطابق محاسبه، مهره را بقدری سفت می‌کنیم که نیروی اولیه لازم در آن ایجاد گردد.

$$\eta = \frac{1 - \mu \tan \alpha}{1 + \mu \cot \alpha} \quad \text{و} \quad \cos \theta_n = 1 \quad \text{برای پیچ زوایای مربعی}$$

$$\tan \alpha = \frac{r_p}{r_d} \quad \text{که } r_p \text{ همان } \frac{F L}{33000} \text{ است} \quad \eta = \frac{hp'}{hp}$$

$$\mu = 0 \Rightarrow T = r_f W$$



شکل ۱۴-۵: راندمان پیچ قدرت موقعی که اصطکاک یا تاقان فشارگیر قابل صرف نظر کردن است.

۵-۱۰ گشتاور لازم برای ایجاد نیرو گیرهای مطلوب

پیچهای استاندارد با دندانه های 60° برای تولید نیرو به طور گسترده به کار می‌روند. نیروی (W) ایجاد شده توسط این نوع پیچ از معادله پیچ توان (۱۲) به دست می‌آید. برای پیچهای $1/2$ in. و بزرگتر که $\mu_1 = \mu_2$ و $\theta = 30^\circ$ و داده های جدول (۵-۱) صدق می‌کنند، مقدار میانگین گشتاور پیچشی (T) لازم برای ایجاد نیروی (W) در پیچ از روابط زیر به دست می‌آید

(الف) برای پیچ دنده درشت؛ $\mu = 0.15$

$$T = 0.195(d)(W) \quad (19)$$

(ب) برای پیچ دنده درشت؛ $\mu = 0.10$

$$T = 0.135(d)(W) \quad (20)$$

(ج) برای پیچ دنده ریز؛ $\mu = 0.15$

$$T = 0.189(d)(W) \quad (21)$$

(د) برای پیچ دنده ریز؛ $\mu = 0.10$

$$T = 0.130(d)(W) \quad (22)$$

در معادلات بالا d نشانگر قطر بزرگ یا قطر اسمی پیچ است. شعاع طوقه برابر با میانگین شعاع میان قطر پیچ و فاصله آچارخور مهره شش گوش در نظر گرفته شده است.

مثال ۵-۶

گشتاور پیچشی لازم برای تولید نیروی 1500 lb در پیچ $1/2-13$ را به دست آورید. زاویه دندانه این پیچ 60° است. شعاع یاتاقان فشارگیر پیچ (r_c) را برابر با میانگین شعاع پیچ و شعاع نظیر ته دندانه مهره در نظر بگیرید. $\mu_1 = \mu_2 = 0.15$. این مسئله را با استفاده از معادله دقیق (۱۲) حل کنید و درستی نتایج به دست آمده را با استفاده از معادله تقریبی (۱۹) امتحان کنید.

اطلاعات داده شده: زاویه دندانه پیچ 60° است؛ پیچ از نوع $1/2-13$ است. شعاع یاتاقان فشارگیر برابر با شعاع میانگین بین شعاع پیچ و شعاع نظیر ته دندانه در مهره است. $W = 1500\text{ lb}$; $\mu_1 = \mu_2 = 0.15$. فرضها: معادلات پیچهای توان برای این مسئله قابل استفاده هستند. روش حل: از معادلات (۱۲)، (۱۳) و (۱۹) همراه با اطلاعات جدول (۵-۱) استفاده می‌کنیم. جزئیات حل: از جدول (۵-۱) داریم

$$dp = 0.4500\text{ in.} = \text{قطر گام}$$

$$r_i = 0.2250\text{ in.}$$

$$r_c = (1/4) \times (0.50 + 0.75) = 0.3125\text{ in}$$

زاویه مارپیچ به صورت زیر تعیین می‌شود

$$\tan \alpha = \frac{p}{\pi d_p} = \frac{1}{13 \pi 0.450} = 0.05441 ; \alpha = 3^\circ 7'$$

از معادله (۱۳) داریم

$$\tan \theta_n = \tan \theta \cos \alpha = 0.57735 \times 0.99852 = 0.57650 ; \theta_n = 29^\circ 58'$$

از معادله (۱۲) داریم

$$T_l = 1500 \times 0.2250 \left(\frac{0.86632 \times 0.05445 + 0.15}{0.86632 - 0.15 \times 0.05445} + \frac{0.3125}{0.2250} \times 0.15 \right) = 147.9\text{ in. lb}$$

از معادله (۱۹) می‌توان نوشت

$$T = 0.195 d W = 0.195 \times \frac{1}{2} \times 1500 = 146\text{ in. lb}$$

بنابراین، با کاربرد معادله تقریبی برای محاسبه نیروی گیره‌ای مربوط به پیچ استاندارد با زاویه دندانه 60° ، صرفه جویی زیادی در زمان صورت می‌گیرد.

۱۱-۵ اصطکاک پیچ‌ها

مطابق آزمایشات انجام شده در رابطه با اصطکاک دندانه‌های پیچ، مقادیر زیر در مورد ضریب اصطکاک، نتایج تقریبی خوبی به دست می‌دهند

$$\mu_c = 0.15 \quad (\text{مقدار میانگین})$$

$$= \pm 33\% \quad (\text{دامنه تغییر})$$

این مقادیر برای پیچهایی که با روغن معدنی روانکاری می‌شوند و سطح آنها دارای پرداخت معمولی (پرداخت قطعات تولید انبوه) است صدق می‌کنند.

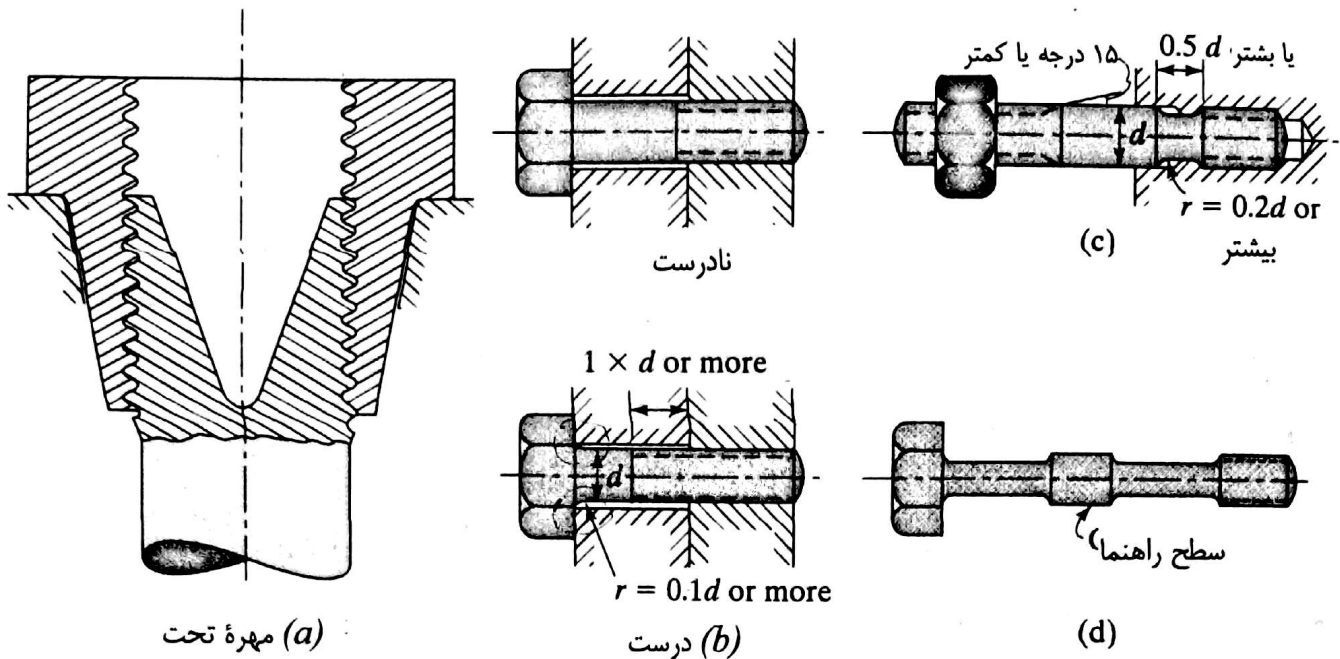
۱۲-۵ تمرکز تنش

تمرکز تنش در ناحیه‌ای از پیچ به وجود می‌آید که در آن بار پیچ از طریق مهره به قطعه متصل به آن منتقل می‌شود. زیرا نیروی پیچ در موقع انتقال به مهره، ابتدا به نواحی مرزی پیچ انتقال می‌یابد و از این طریق به مهره منتقل می‌گردد. در شرایط ایده آل، مقدار تنش کششی در پیچ و تنش فشاری در مهره، از مقدار حداکثر در نخستین دندان تا مقدار حداقل در دندان آخر به طور یکنواخت کاهش می‌یابد. اما تنش فشاری در مهره باعث کاهش گام دندان مهره می‌شود. در نتیجه سازگاری صحیح میان این دو قطعه تحت بار از بین می‌رود. بخش اعظم بار از طریق جفت دندان اول پیچ و مهره منتقل می‌شود. بنابراین، در این ناحیه تمرکز تنش بزرگی ایجاد می‌شود.

اگرچه در اثر خم شدن دندان ها و کشامد مهره، مقداری از شدت تمرکز تنش کاسته می‌شود، اما گسیختگی غالب پیچها در این ناحیه اتفاق می‌افتد. در بیشتر موارد، ضرایب تمرکز تنش دندان های پیچ یا مهره تحت بارهای ثابت (استاتیک) به روش تحلیل فتوالاستیک تعیین می‌شود. با انجام آزمایشات سه بعدی معلوم شده مقدار ضریب تمرکز تنش در ریشه اولین دندان در گیر برابر با (3.85) است. اما محققان دیگر به ضرایبی بزرگتر یا کوچکتر از این مقدار دست یافته اند. از روش های گوناگونی برای افزایش میزان انعطاف پذیری مهره استفاده می‌کنند تا بتوانند مساحتی را که این انتقال نیرو در روی آن انجام می‌گیرد افزایش دهند. مهره تحت کشش یا مهره لبه مخروطی شکل (a ۱۵-۵) مقاومت خوبی در برابر بارهای متغیر (خستگی) دارد.

سطح مقطع کوچکتر باعث می‌شود پیچ در تحت بار کششی همراه با مهره تغییر شکل دهد. این تغییر شکل باعث می‌شود بار وارده، در روی تعداد بیشتری از دندان ها پخش شود. در یک روش دیگر، دندان های مهره را روی قطعه‌ای با شیب کم می‌سازند و بدین وسیله سطح تماس چند دندان اول را کاهش می‌دهند. چون دندان های اول خم می‌شوند، لذا دندان های بعدی وارد عمل شده و بار وارده را تحمل می‌کنند. بدین ترتیب، در موقع اتصال پیچ و مهره، بار وارده به دندان های اولیه کاهش پیدا می‌کند. در این روش تolerانس ابعادی دقیقی مورد نیاز است و لذا هزینه تولید بالا می‌رود. در بعضی موارد، برای افزایش سطح انتقال بار میان پیچ و مهره، مدول کشسانی ماده مهره را کمتر از مدول کشسانی ماده پیچ انتخاب می‌کنند. میزان نرمی (داکتیلیته) ماده مهره باید بقدری زیاد باشد که بتواند بدون اینکه بشکند براحتی تغییر شکل دهد.

افزایش انعطاف پذیری مهره، همچنین در مواردی که بار وارده متغیر است (شرایط خستگی) مفید است. همانگونه که در شکل (b ۱۵-۵) نشان داده شده، لازم است قسمت دندان دار (رزوه دار) پیچ به اندازه کافی از مقدار لازم برای بستن مهره بیشتر باشد. گرد کردن محل اتصال سر پیچ به ساق آن برای کاهش دادن تمرکز تنش در این محل بسیار مفید است.

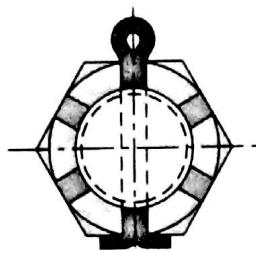


شکل ۱۵-۵: روشهایی برای افزایش استحکام پیچها.

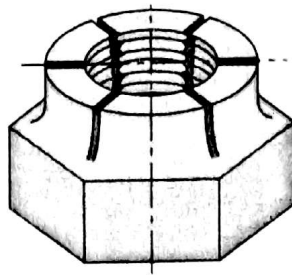
زاویه *run-out* برای دندانان باید مطابق شکل (۱۵C-۵) مقدار کوچکی داشته باشد. زیرا تمرکز تنش در دندانان های اول حداکثر است. بهمین دلیل یک شیار جهت آزادسازی تنش، در انتهای راست این پیچ بدون سر ایجاد شده است. قطر آن باید برابر یا اندکی کوچکتر از قطر ریشه (قطر کوچک) پیچ باشد. همچنین، این شیار باید با شعاعهای نسبتاً بزرگی به ساق پیچ متصل باشد. زیرا شعاع (شعاع قسمت گرد شده) بزرگتر در هنگام انتقال بار از سطح مقطع بزرگ به سطح مقطع کوچک، تمرکز تنش کمتری ایجاد می‌کند. بعلاوه، اگر به دلیل مونتاژ نادرست قطعات، پیچ (پیچ بدون سر) خم شود، قطر کوچک، تنش خمشی کمتری را در ماده ایجاد می‌کند. اگر قطر قسمت صاف (بدون دندان) پیچ را که در فاصله بین سر پیچ و قسمت دندانان دار آن قرار دارد برابر با قطر ریشه پیچ انتخاب کنیم، میزان انعطاف پذیری پیچ افزایش می‌یابد. اگر پیچ برای بستن چند قطعه به کار رود لازم است میان قسمت دندانان دار آن قسمتهای کوتاه صاف (بدون دندان) وجود داشته باشد. زیرا این قسمتهای صاف به عنوان راهنما برای قطعات مونتاژ شونده عمل می‌کنند. همانگونه که در شکل (۱۵d-۵) می‌بینیم، قطر این قسمتهای کوتاه صاف برابر با قطر اصلی (قطر بزرگ) پیچ است.

حساسیت فولادهای حرارت کاری شده نسبت به تغییر شکل، معمولاً بیشتر از فولادهای کربن ساده است. هرگاه یک دندانان پیچ واقعی تحت بارهای متغیر (خستگی) مورد آزمایش قرار گیرد، صحبت کردن از ضربی به نام "ضرب کاهش تنش" جا دارد و کار بسیار درستی است. ضرب کاهش تنش مطابق تعریف، عبارت از نسبت حد تحمل نمونه ساده‌ای از یک ماده به حد تحمل نمونه دندانان دار از همان ماده است.

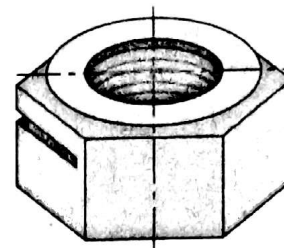
عمل گسیخته شدن پیچها را به این صورت تخمین زده اند ۱۵٪ آنها از زیر سر پیچ، ۲۰٪ آنها از انتهای قسمت دندانان دار پیچ، و ۶۵٪ آنها از مقطعی از پیچ که سطح مهره در آن قرار دارد تخریب (گسیخته) می‌شوند.



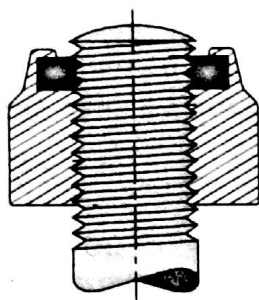
(a) پیچ و مهره اسپیل دار



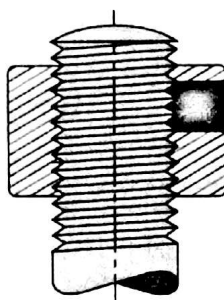
(b) بخش بالایی مهره شیبدار است. قسمتهای مهره روی پیچ فشار وارد می‌کند.



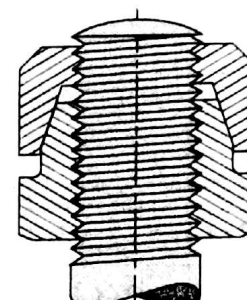
(c) دندانه‌های بالای شکاف موجب گیرایی اصطکاکی می‌شوند.



(d) قطعه جاگذاشته نایلونی یا فیبری روی دندانه‌ها نیروی اصطکاکی وارد می‌کند.



(e) قطعه نایلونی در مهره، روی دندانه‌های پیچ نیروی اصطکاکی وارد می‌کند.



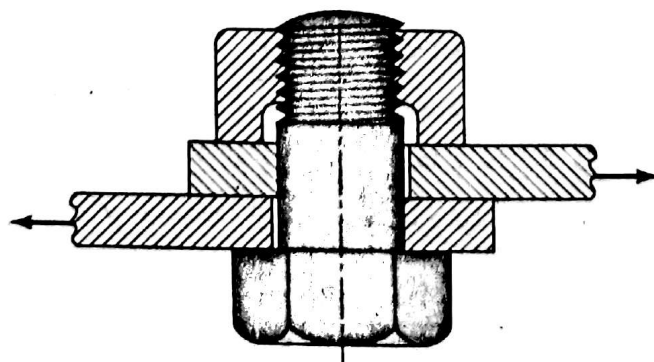
(f) مهره بالایی باعث می‌شود مهره پایینی روی پیچ فشار آورد.

شکل ۱۶-۵: انواع شکلهای مهره‌های قفل

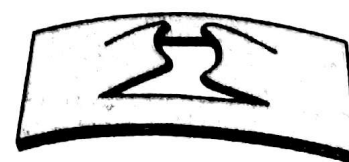
۱۳-۵ مهره‌های قفل (قفل کننده)

انواع زیادی مهره قفل برای جلوگیری از شل شدن در حین عمل طراحی شده‌اند. در شکل (۱۶-۵) چند نوع مهره قفل نشان داده شده است. واشرهای قفل (قفل کننده) و واشرهای فنری نیز در زیر مهره‌های معمولی برای جلوگیری از شل شدن آنها، در حین کار، قرار داده می‌شوند.

مایعاتی بنام مایعات قفل کننده، پیچ وجود دارند. با استفاده از این مایعات می‌توان از شل شدن مهره‌ها در اثر ضربات و ارتعاشات جلوگیری کرد. این ماده بین دندانه‌های درگیر پر شده و مانند پلاستیک سفت شود. در نتیجه دندانه‌های پیچ و مهره را به یکدیگر می‌چسباند. سفت شدن مایع قفل کننده در تماس با فلز و در غیاب اکسیژن صورت می‌گیرد. چندین نوع مایع قفل کننده با ترکیبات و خواص فیزیکی گوناگون وجود دارد. هر کدام از آنها کاربرد ویژه‌ای دارد.



(a) مهره برای مطمئن شدن از تکیه پیچ بر روی ورق نازک به کار می‌رود.



(b) مهره سرعتی تخت استاندارد

شکل ۱۷-۵: نمونه‌هایی از مهره‌های ویژه

با استفاده از مهره مخصوص (شکل ۵-۱۷a) مطمئن می‌شویم که کل بدنه پیچ، نه فقط قسمت دنداندار آن، در برابر نیروی صفحات نازک مقاومت می‌کند. همین اطمینان را می‌توان با استفاده از واشرهای با ضخامت مناسب نیز به وجود آورد. مهره سرعتی (شکل ۵-۱۷b) در واقع یک مهره تک دنداندار از جنس فولاد فنی است. فکهای فنی مهره سرعتی، پس از بستن آن، به پیچ بدون سر فشار می‌آورد و به صورت یک قفل فنی قوسی عمل می‌کند.

پیچهای تلگرافی برای مونتاژ فلزات نازک، فلزات غیر آهنی، لاستیک‌ها، قطعات چوبی و امثال آن به کار می‌روند. شکل دنداندار پیچ مورد استفاده در ریخته‌گری تحت فشار و پلاستیک‌ها، باید طوری باشد که این پیچ بدون ایجاد پلیسه موجب حرکت قطعه شود. کاربرد این نوع پیچ ممکن است در موارد دیگر مجاز نباشد.

۵-۱۴ مواد و روشهای ساخت پیچها

پیچها تقریباً همیشه با ماشینهای آهنگری اتوماتیک ساخته می‌شوند. در روش آهنگری، سطح پیچ ساخته شده پرداخت خوبی دارد و عملاً مقدار ریخت و ریز فلز صفر است. سر پیچهایی که قطرشان $3/4$ in. یا کمتر است بصورت سرد ساخته می‌شود. اما موقع شکل دهی سر پیچهایی که قطرشان از $3/4$ in. بیشتر است باید انتهای میله پیچ را به قدر مناسب گرم کرد. (در روش آهنگری) میله‌ای که می‌خواهند رویش دنداندار ایجاد کنند بین صفحات مخصوصی (صفحات دنداندار) قرار داده و می‌غلطانند. طی این عمل، دنداندارهای روی صفحات، قسمتهایی از میله را به داخل آن فشار داده و ریشه یا ته دنداندار را ایجاد می‌کنند. به طور همزمان، بقیه قسمتهای میله به خارج آن (به داخل شیارهای بین دنداندارهای صفحات) رانده می‌شوند و سر دنداندارها را ایجاد می‌کنند. بدین ترتیب در روی میله صاف، دنداندارهای پیچ (رزوه) تشکیل می‌شوند. بنابراین در روش آهنگری، قطر میله پیچ، پیش از غلتک زنی، از قطر بزرگ آن کوچکتر است.

اگر بخواهیم قطر بزرگ قسمت دنداندار دار پیچ برابر با قطر قسمت صاف آن باشد، باید قطر قسمتی که غلتک زنی می‌شود از قطر قسمت صاف آن کوچکتر باشد، به اندازه‌ای که پس از غلتک زنی، قطر هر دو قسمت یکی گردد. در ماشین آهنگری، کوچک سازی قطر قسمتی از پیچ به طور همزمان با شکل دهی سر آن انجام می‌گیرد. پیچهای ساخته شده به روش غلتک زنی، به دلیل داشتن ساختار دانه‌ای خوب در ته دنداندار هایشان، نسبت به پیچهای ساخته شده به روش تراشکاری در برابر بارهای متغیر و ضربه‌ای مقاومت بیشتری دارند. مقاومت کششی پیچها را می‌توان به آسانی با استفاده از درجه سختی آنها در جدول (۵-۳) مشخص کرد. شماره بزرگتر نشانگر مقاومت کششی بیشتر است. درجه سختی پیچها را می‌توان مطابق شکل (۵-۱۸) با حک کردن شماره‌هایی در سر آنها مشخص کرد.

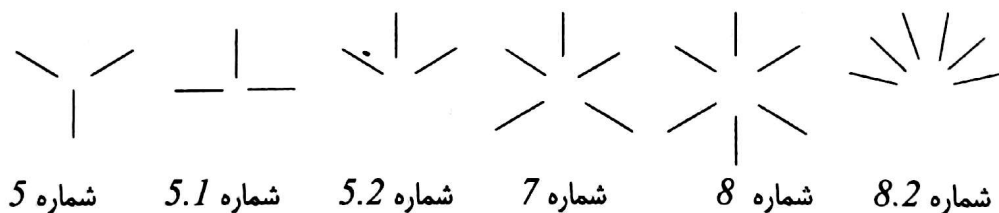
البته، پیچها را می‌توان از انواع دیگر فولادها و حتی از فلزات غیر آهنی ساخت. همچنین، پیچها را می‌توان به روش تراشکاری با استفاده از ماشینهای پیچ تراش خودکار، از میله‌هایی که قطرشان برابر با قطر سر پیچ است ساخت. اما روش تراشکاری به دلیل ریخت و ریز زیاد فلز و ساختن سر پیچ به صورت سرد، کمتر مورد استفاده قرار می‌گیرد. به روش سنگ زنی نیز می‌توان روی میله‌ها دنداندار (رزوه) ایجاد کرد.

جدول ۳-۵: خواص مکانیکی مواد مورد استفاده در ساخت انواع پیچ و پیچهای بدون سر*.

عدد سختی	خواص ماده				سختی هسته		کربن C بر حسب درصد	
	حداقل تنش تسلیم (psi)	مقاومت کششی حداقل	افزایش طول حداقل (%)	کاهش مساحت حداقل (%)	مینیم	ماکزیم	مینیم	ماکزیم
1	36,000	60,000	18	35	B70	B100	—	0.55
2 (1/4 through 3/4)	57,000	74,000	18	35	B80	B100	—	0.55
2 (3/4 to 1-1/2)	36,000	60,000	18	35	B70	B100	—	0.55
4	100,000	115,000	10	35	C22	C32	—	0.55
5 (1/4 through 1)	92,000	120,000	14	35	C25	C34	0.28	0.55 [†]
5 (1 to 1-1/2)	81,000	105,000	14	35	C19	C30	0.28	0.55 [†]
5.2	92,000	120,000	14	35	C26	C36	0.15	0.55
7	115,000	133,000	12	35	C28	C34	0.28	0.55
8	130,000	150,000	12	35	C33	C39	0.28	0.55
8.1	130,000	150,000	10	35	C32	C38	0.28	0.55
8.2	130,000	150,000	10	35	C35	C42	0.15	0.25 [†]

از استاندارد SAE (J429-AUG83)

* بار گواه بر حسب psi در مورد پیچ با اندازه کامل حدوداً ۱۰ درصد کمتر از مقاومت تسلیم آن است. پیچهای با درجه سختی ۵ تا ۸.۲ آبکاری و سپس تابکاری (تمپره) می‌شوند.
بعلاوه $0.74 Mn$.



شماره ۵ شماره ۵.۱ شماره ۵.۲ شماره ۷ شماره ۸ شماره ۸.۲

شکل ۱۸-۵: علائم مشخصه درجه سختی سر پیچها با استاندارد SAE-J429 AUG83

۱۵-۵ تنش ناشی از بارهای ضربه‌ای

در بعضی از موارد پیچها تحت بارهای ناگهانی یا ضربه‌ای قرار می‌گیرند. تنش ناشی از چنین بارهایی را با محاسبه مقدار انرژی U جذب شده توسط پیچ تعیین می‌کنند.
همانگونه که در شکل (۱۹-۵) می‌بینید، نمودار نیرو - تغییر شکل مربوط به پیچی که تحت بار کششی قرار دارد به شکل مثلث است. مقدار مساحت، برابر با مقدار انرژی ذخیره شده در پیچ است. بنابراین می‌توان نوشت

$$U = \frac{1}{2} F \delta \quad (23)$$

در این معادله F نشانگر نیروی ناشی از ضربه δ تغییر شکل نظیر آن است. تغییر شکل δ برابر با F/k است، در این عبارت k ثابت فنری پیچ و برابر با (AE/l) است. با جاگذاری مقدار δ در معادله بالا، خواهیم داشت

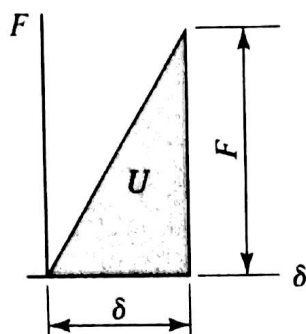
$$U = \frac{F^2}{2k} \quad (24)$$

نیروی ناشی از ضربه

انرژی جذب شده توسط پیچ ناشی از ضربه

$k = \frac{AE}{l}$

$\delta = \frac{F}{A}$



شکل ۵-۱۹: نمودار انرژی کرنشی برای پیچ

$$\text{مات کوکترین سطح} = \frac{F}{A} = \text{کرنش پیچ}$$

تنش پیچ برابر با حاصل تقسیم نیروی F بر مساحت کوچکترین مقطع پیچ است. در مورد پیچ دندانه دار، این مساحت برابر با سطح تنش (مساحت تحت تنش) قسمت دندانه دار پیچ است.

مثال ۵-۷

می‌خواهیم پیچی به مشخصات $1/2 \text{ in.} - 13 \text{ UNC} \times 12 \text{ in.}$ از جنس فولادی به مدول کشسانی $E = 30000000 \text{ psi}$ طوری طراحی کنیم که بار ضربه‌ای $40 \text{ in.} \cdot \text{lb.}$ را تحمل کند.
(الف) مقدار تنش مساحت تحت تنش پیچ استاندارد را بدست آورید.
(ب) مقدار تنش را در صورتی که مساحت مقطع بدنه پیچ در بین مهره و سر پیچ برابر با مساحت تنش باشد، حساب کنید.

اطلاعات داده شده: پیچ دارای مشخصات $1/2 \text{ in.} - 13 \text{ UNC} \times 12 \text{ in.}$ است؛

$$U = 40 \text{ in.} \cdot \text{lb.}; E = 30000000 \text{ psi}$$

فرضها: پیچ انرژی ضربه‌ای را جذب می‌کند.

روش حل: از معادله (۲۴) و اطلاعات جدول (۵-۱) استفاده می‌کنیم.

جزئیات حل: اگر دندانه های پیچ در مجاورت مهره تمام شده باشند، قطر $1/2 \text{ in.}$ بر اثر نیروی ضربه‌ای افزایش پیدا می‌کند. بنابراین می‌توان نوشت

$$A = \frac{\pi}{4} \left(\frac{1}{2} \right)^2 = 0.1964 \text{ in}^2$$

$$k = \frac{AE}{l} = \frac{0.1964E}{12} = 0.01637E$$

از معادله (۲۴) داریم

$$F = \sqrt{2kU} = \sqrt{2 \times 0.01637 \times 30000000 \times 40} = 6267 \text{ lb}$$

با استفاده از جدول (۵-۱) داریم

$$\text{مساحت تنش} = 0.1419 \text{ in}^2$$

در مساحت تحت تنش داریم

$$\sigma = \frac{6267}{0.1419} = 44160 \text{ psi}$$

این تنش، به دلیل وجود تمرکز تنش، ممکن است به مقدار زیادی افزایش یابد.
(ب) حال، مقدار k بستگی به مساحت تحت تنش دارد. بنابراین خواهیم داشت

$$k = \frac{AE}{l} = \frac{0.1419 E}{12} = 0.01182E$$

از معادله (۲۴) داریم

$$F = \sqrt{2 \times 0.01182 \times 30000000 \times 40} = 5320$$

$$\sigma = \frac{5320}{0.1419} = 37530 \text{ psi}$$

مثال ۷۴-۵

قطر بزرگ یک پیچ فولادی برابر با 14 mm و گام p آن برابر با 2 mm است. طول این پیچ 300 mm است و لازم است بار ضربه‌ای 4500 Nmm را تحمل کند. قسمت دندانه دار پیچ در مجاورت مهره تمام شده است. مدول کشسانی فولاد پیچ را $E = 210000 \text{ MPa}$ در نظر بگیرید.

(الف) مقدار تنش در مساحت ریشه (سطح مقطع کوچک) مربوط به پیچ استاندارد به دست آورید.

(ب) مقدار تنش را در صورتی که مقطع پیچ در بین مهره و سر پیچ برابر با مساحت ریشه باشد، حساب کنید.

اطلاعات داده شده: پیچ از جنس فولاد و قطر آن 14 mm است؛

$$E = 210000 \text{ MPa}; l = 300 \text{ mm}; p = 2 \text{ mm}; U = 4500 \text{ Nmm}$$

فرضها: پیچ انرژی ناشی از ضربه را جذب می‌کند.

روش حل: از معادله (۲۴) استفاده می‌کنیم.

جزئیات حل: (الف) برای قطر بزرگ 14 mm پیچ داریم

$$A = \frac{\pi}{4} \times 14^2 = 153.9 \text{ mm}^2$$

$$k = \frac{AE}{l} = \frac{153.9 \times 210000}{300} = 107760 \text{ N/mm}$$

از معادله (۲۴) داریم

$$F = \sqrt{2kU} = \sqrt{2 \times 107760 \times 4500} = 31140 \text{ N}$$

با استفاده از مثال ۱۴-۵، مساحت ریشه برابر با 110.01 mm^2 است. در مساحت ریشه داریم

$$\sigma = \frac{31140}{110.0} = 283 \text{ N/mm}^2 \text{ یا } \text{MPa}$$

(ب) حال مقدار k بستگی به مساحت تنش دارد. بنابراین خواهیم داشت

$$k = \frac{AE}{l} = \frac{110.0 \times 210000}{300} = 77000 \text{ N/mm}$$

از معادله (۲۴) داریم

$$F = \sqrt{2 \times 77000 \times 4500} = 26320 \text{ N}$$

در مساحت ریشه داریم

$$\sigma = \frac{26320}{110.0} = 239 \text{ N/mm}^2 \quad \text{یا} \quad \text{MPa}$$

اگر به جزئیات مسئله به طور دقیق توجه کنیم، در می‌یابیم که می‌توان قطر کوچک را با نزدیک شدن به قسمت دندانه دار پیچ به تدریج افزایش و ضریب تمرکز تنش را عملاً به 1 کاهش داد.

مثالهای (۵-۷) و (۵-۷ A) نشان می‌دهند که با کاهش دادن قطر پیچ به قطر ریشه (قطر کوچک پیچ)، انعطاف پذیری پیچ افزایش می‌یابد و در نتیجه تنش کوچکتری در اثر ضربه به وجود می‌آید. همچنین با استفاده از پیچهای طویل تر می‌توان میزان انعطاف پذیری آنها را افزایش داد. اگر پیچ از ماده نرم (داکتیل) ساخته شده باشد و نیروی ضربه‌ای وارد بر آن از حد تسلیم تجاوز کند، مقداری تغییر شکل دائمی در آن ایجاد می‌شود.

آزمایشات نشان داده اند، مقاومت کششی مواد تحت اثر بارهای ضربه‌ای اندکی بیشتر از مقاومت کششی آنها تحت اثر بارهای ثابت است.

۵-۱۶ پدیده سست شدن

پیچهایی که قطعات سنگین را به یکدیگر متصل می‌کنند، تحت شرایط افزایش طول ثابت، کار می‌کنند. وقتی دما بالا است، بعد از یک مدت کافی تنش اولیه پیچ از بین می‌رود و اتصال، سفتی خود را از دست می‌دهد. این پدیده را سست شدن می‌نامند. بنابراین، تنش اولیه باید بقدری زیاد باشد که در انتهای عمر انتظاری سیستم نیز، سفتی اتصال از بین نرود. پدیده سست شدن در اتصالات انقباضی یا اتصالات پرسی که در دمای بالا کار می‌کنند بیشتر اتفاق می‌افتد.

مراجع

1. *Guide to World Screw Thread Standards*, Bedford, England: W.H.A. Robertson & Co. Ltd., Lyton Works.
2. Rothbart, H. A., Ed., *Mechanical Design and Systems Handbook*, New York: McGraw-Hill, 1964, Sections 20, 21, and 26.
3. *Screw-Threads for Federal Services*, Handbook H 28, Washington, DC.: U.S. Government Printing Office, 1957.
4. *Unified and American Screw Threads*, ASA B1.1-1989, New York: American Society of Mechanical Engineers.

مسایل

در مسایل ۱ تا ۵ فرض کنید قسمت دندانه دار پیچ تا سطح بالایی مهره، دارای رزوه باشد.

۵-۱ در یک سیستم با بارگذاری معادل سیستم نشان داده شده در شکل ۸-۵ مشخصات پیچ عبارت از $3/4 \text{ in } 16 \text{ UNF}$ است و کل بار وارده از ۲۰۰۰ تا 10000 lb تغییر می‌کند. برای ماده پیچ مقادیر $\sigma_{yp} = 110000 \text{ psi}$ و $\sigma_{ult} = 130000 \text{ psi}$ صادقند. مقدار ضریب تمرکز تنش برای دندانه‌های پیچ معادل ۳.۸۵ و مقدار ضریب اطمینان براساس نقطه سیلان معادل ۲ فرض می‌شود. برای پیچ و قطعه E را برابر با 30000000 psi در نظر بگیرید. دندانه‌های پیچ ماشینکاری شده‌اند. مساحت سطح مقطع قطعه برابر 1.25 in^2 است.

(الف) مثلث تنش مجاز را برای ماده پیچ رسم کرده و مقدار تنش را موقعی که در پیچ تنش اولیه وجود ندارد، بدست آورید.

(ب) اگر نیروی اولیه پیچ 8000 lb باشد، مقادیر تنش‌های آن را در روی مثلث تنش مجاز مشخص کنید. البته لازم است مشخص کنید که آیا پس از اعمال حداکثر بار، در قطعه نیروی فشاری وجود دارد یا نه. اگر کل نیروی فشاری از بین برود، مقدار نیروی تحملی پیچ برابر با مقدار بار می‌شود.

(ج) بند (ب) را برای حالتی که نیروی اولیه برابر 13000 lb است تکرار کنید. به اثر ناشی از تنش اولیه زیاد، توجه کنید.

(د) فرض کنید پیچ از فولاد و قطعه از آلومینیومی به مشخصه $E = 10000000 \text{ psi}$ ساخته شده باشد.

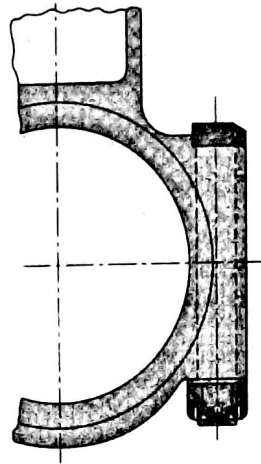
در صورتی که سایر داده‌ها مطابق بند (ب) باشد، مقادیر تنش‌های پیچ را مشخص کنید.

(ه) فرض کنید به غیر از قسمتی که مهره بسته می‌شود، سایر قسمت‌های پیچ را تراشیده و به قطر مساحت تحت تنش (قطر کوچک پیچ) برسانیم. در این حالت مقادیر تنش‌های پیچ را مشخص کنید. سایر داده‌ها همانند بند (ب) فرض شود.

$$(b) \sigma_{av} = 25650 \text{ psi}, K\sigma_r = 10790 \text{ psi} \text{ (جواب)}$$

۵-۲ قطر پیچ شاتون نشان داده شده در شکل (۲۰-۵) برابر با 10 mm و گام دندانه پیچ برابر 1.5 mm است. نیروی کششی اولیه پیچ 16000 N است. دندانه‌های پیچ سنگ‌زنی شده است. مشخصات ماده بدین صورت است $\sigma_{ult} = 760 \text{ MPa}$, $\sigma_{yp} = 620 \text{ MPa}$, $\sigma_e = 350 \text{ MPa}$. مقدار متوسط مساحت سطح مقطع مربوط به قطعات متصل شده توسط هر پیچ 320 mm^2 است. ضریب تمرکز تنش برای دندانه‌ها معادل ۳.۸۵ است. بار وارد بر هر کدام از پیچ‌ها بطور پیوسته از صفر الی 11000 N تغییر می‌کند. مقدار ضریب اطمینان پیچ را حساب کنید. مقدار حداقل نیروی موجود در قطعه را پیدا کنید. مدول الاستیسیته ماده قطعه با مدول الاستیسیته ماده پیچ برابر است.

$$F_S = 1.54 \text{ (جواب)}$$



شکل ۵-۲۰

۵-۳ در شکل (۵-۸) فرض کنید پیچ از فولاد سرد - کشیده 2317 ساخته شده و مشخصات آن بصورت $1 \text{ in } 12 \text{ UNF}$ باشد. مقدار بار وارد بر قطعه بطور پیوسته از 10000 تا 20000 lb تغییر می‌کند. برای ماده پیچ مشخصات $\sigma_{ult} = 95000 \text{ psi}$; $\sigma_{yp} = 75000 \text{ psi}$; $\sigma_e = 36000 \text{ psi}$ صادق است. دندانه‌ها ماشین کاری شده‌اند. $K = 3.85$. مساحت قطعه فولادی 1.2 in^2 و ضریب اطمینان 2 است. اگر پیچ برای کار مداوم با $F_S = 2$ مطمئن باشد، حداکثر مقدار مجاز F_0 چقدر است. (جواب) $F_0 = 3060 \text{ lb}$

۵-۴ پیچ نشان داده شده در شکل (۵-۸) از فولاد سرد - کشیده 1137 ساخته شده و قطر آن 20 mm است. گام دندانه این پیچ 2.5 mm است. دندانه‌های آن از طریق ماشینکاری ساخته شده‌اند. مشخصات زیر در مورد ماده این پیچ صادق است: $\sigma_{ult} = 105000 \text{ psi} = 724 \text{ MPa}$; $\sigma_{yp} = 90000 \text{ psi} = 621 \text{ MPa}$; $\sigma_e = 39000 \text{ psi} = 269 \text{ MPa}$, $F_S = 2.5$, $K = 3.85$ و نیروی اولیه $F_0 = 34000 \text{ N}$ است. اگر تنش متوسط در سطح ریشه (یا در سطح مقطع نظیر قطر کوچک پیچ) برابر با 170 MPa باشد، مقادیر ماکزیمم و مینیمم بار متغیر P در قطعه را حساب کنید. (جواب) $P_{max} = 40369 \text{ N}$, $P_{min} = -4100 \text{ N}$

۵-۵ (الف) فرض کنید در شکل (۵-۸) پیچ را به اندازه‌ای سفت کنیم که نیروی اولیه‌ای مانند F_0 در آن بوجود آید و بعد از سفت کردن قطعه به اندازه ϵ کاهش طول دهد. معادله‌ای بنویسید که مقدار نیروی اولیه جدید F_0 پیچ را محاسبه کند. (ب) مقدار F_p را برای پیچ مسئله (ب-۱) پیدا کنید، به شرطی که بدایلی، قطعه به اندازه 0.0003 in. کوتاه گردد. طول پیچ و قطعه 5.0 in. است.

$$(الف) F'_0 = F_0 - \frac{\epsilon k_p k_b}{k_b + k_p}, \quad (ب) F'_p = -23 \text{ lb} \quad (\text{جواب})$$

۵-۶ نیروی کششی پیچی به قطر 8 mm و به گام دندانه 1 mm را پیدا کنید، در صورتی که آنرا توسط آچار با اعمال گشتاور 27000 Nmm سفت کرده باشیم. فرض کنید ضریب اصطکاک دندانه‌ها و اصطکاک مربوط به یاتاقان فشارگیر آن برابر باشند. قطر خارجی یا بزرگ یاتاقان 13 mm است. به ازای ضرایب اصطکاک $\mu = 0.10, 0.15, 0.20$ محاسبات را انجام دهید. (جواب) $W = 24290 \text{ N}$

۷-۵ بار 10000 lb توسط یک پیچ آکمه 2.5 in. با مشخصات استاندارد تحمل می‌شود. این پیچ یک راهه است. گام دندانه آن $1/3\text{ in.}$ و قطر گام آن $2\ 1/3\text{ in.}$ است. قطر خارجی و داخلی یاتاقان فشارگیر آن به ترتیب برابر با 4 in. و 1.25 in. است.

(الف) اگر $\mu_1 = \mu_2 = 0.15$ باشد و بخواهیم با سرعت 10 fpm بار را بالا ببریم، توان لازم را بر حسب اسب بخار حساب کنید.

(ب) با در نظر گرفتن اصطکاک پیچ و اصطکاک یاتاقان فشارگیر آن، راندمان پیچ را حساب کنید. اگر یاتاقان فشارگیر از نوع ضد اصطکاک و اصطکاک آن قابل صرفنظر باشد، راندمان پیچ چقدر می‌شود.

(ج) اسب بخار لازم جهت پایین آوردن بار با همان سرعت را پیدا کنید.

(د) اگر یاتاقان فشارگیر از نوع بلبرینگ با ضریب اصطکاک $\mu_2 = 0.003$ باشد، اسب بخار لازم برای بلند کردن بار با همان سرعت چقدر می‌شود. فرض کنید شعاع یاتاقان بلبرینگ مساوی شعاع یاتاقان فشارگیر ساده قبلی باشد، مقدار راندمان را برای این حالت نیز حساب کنید.

(ه) با فرض وجود بلبرینگ در پای پیچ، مقدار گام دندانه پیچ را برای حالتی که پیچ برگشت‌پذیر باشد (برابر نیروی وزن بار در جهت معکوس بچرخد) حساب کنید. قطر گام همان است.

(و) اگر گام پیچ برای برگشت‌پذیر بودن آن کافی باشد، مقدار راندمان تنها برای خود پیچ چقدر خواهد بود.

(ز) اگر حداقل قطر بزرگ پیچ 2.483 in. و حداکثر قطر کوچک آن 2.183 in. باشد، حداقل طول درگیری لازم برای مهره چقدر باید باشد تا مقدار تنش فشاری مساحت پیش آمده دندانه‌های آن 600 psi گردد.

(ح) اگر حداقل قطر کوچک پیچ 2.130 in. باشد، مقدار متوسط تنش فشاری را در ریشه دندانه حساب کنید. مقدار فشار در یاتاقان فشارگیر پای پیچ چقدر است.

(جواب) (الف) $hp = 24.7$ (ب) $12.3, 22.5\%$ راندمان (ه) $p = 1.16\text{ in}$ (ز) $l = 5.05\text{ in.}$

۸-۵ (الف) نیروی اصطکاک یاتاقان فشارگیر موجود در پای یک پیچ دندانه مربعی قابل صرفنظر است. رابطه‌ای برای $\tan \alpha$ در این پیچ بنویسید که مطابق این رابطه مقدار راندمان ماکزیمم باشد.

(ب) مقدار راندمان ماکزیمم چقدر است؟ اندازه زاویه‌ای که در آن این راندمان به ازای $\mu_1 = 0.1$ اتفاق می‌افتد به دست آورید

$$\tan \alpha = -\mu_1 + \left(1 + \mu_1^2\right)^{\frac{1}{2}}, \text{ راندمان} = 81.9\% \text{ (جواب)}$$

۹-۵ یک پیچ توان دندانه مربعی با مصرف توان 4 hp وزنه 2000 lb را با سرعت 40 fpm بالا می‌برد. گام دندانه این پیچ چقدر است. قطر گام و μ_1 به ترتیب 1.375 in. و 0.15 هستند. اصطکاک یاتاقان فشارگیر قابل صرفنظر است. (جواب) $p = 1.106\text{ in.}$

۱۰-۵ راندمان یک پیچ دندانه مربعی موقع بلند کردن بار، 65% است. اصطکاک یاتاقان فشارگیر آن قابل صرفنظر و اصطکاک دندانه‌های آن 0.15 است. قطر گام 70 mm است. موقع پایین آوردن بار، سرعت حرکت آن توسط ترمزی که در روی پیچ سوار شده یکنواخت می‌شود. اگر مقدار بار 9000 kg باشد، گشتاوری را که ترمز وارد می‌کند به دست آورید.

$$T = 510800\text{ Nmm} \text{ (جواب)}$$

۵-۱۱ راندها یک پیچ دندانه مربعی موقع بلند کردن یک وزنه، 70% است. اصطکاک یاتاقان فشارگیر آن قابل صرفنظر و اصطکاک دندانه‌های آن $\mu_1 = 0.12$ است. مقدار بار 8000 lb و مقدار قطر گام 1.15 in. است. برای اینکه موقع پایین آوردن وزنه سرعت آن یکنواخت شود، در روی پیچ ترمزی سوار شده است. گشتاور وارد از طرف این ترمز را حساب کنید.

(جواب) $T = 890\text{ in.lb}$

۵-۱۲ قطر گام یک پیچ دندانه مربعی 23 mm و راندها آن در موقع بلند کردن وزنه 1800 kg ، برابر 70 درصد است. اصطکاک یاتاقان فشارگیر پیچ قابل صرفنظر و اصطکاک دندانه‌های آن 0.10 است. گشتاوری را که ترمز موجود در روی این پیچ جهت یکنواخت شدن سرعت پایین آمدن وزنه وارد می‌کند، چقدر است.

(جواب) $T = 30680\text{ Nmm}$

۵-۱۳ ✓ قطر گام یک پیچ دندانه مربعی 1.5 in. و گام مارپیچ آن 1 in. است. این پیچ موقع بلند کردن وزنه 2800 lb با سرعت 30 fpm توان 4 hp را مصرف می‌کند. اگر اصطکاک یاتاق فشارگیر پیچ قابل صرفنظر باشد، مقدار ضریب اصطکاک دندانه‌های آن را حساب کنید.

(جواب) $\mu_1 = 0.113$

۵-۱۴ یک پیچ دندانه مربعی در حالت سکون بطرف پایین بر می‌گردد (برگشت‌پذیر است). موقع بلند کردن وزنه 450 kg با سرعت 4.6 m/min ، توان ورودی آن 0.69 kW است. اگر قطر گام پیچ 20 mm و اصطکاک یاتاقان فشارگیر آن قابل صرفنظر باشد، گام دندانه آن را حساب کنید.

(جواب) $p = 8.75\text{ mm}$

۵-۱۵ روی میله‌ای گرد بقطر $1\frac{3}{16}\text{ in.}$ می‌خواهیم تعداد 9 دندانه در هر اینچ از طول آن بترسیم. مشخصات یا نسبت‌های این پیچ مشابه سیستم یونیفاید خواهد بود. مقدار قطر گام پایه را حساب کنید. اگر پیچ بصورت دوراهه تراشیده شود، زاویه مارپیچ آن چقدر باید باشد.

۵-۱۶ قطر بزرگ مینیمم پیچی به مشخصات $1\text{ in.} - 8\text{ UNC}$ برابر 0.9755 in. است. قطر کوچک ماکزیمم مهره برابر 0.8797 in. است. اگر بار کششی 8000 lb باشد و مقدار تنش مجاز سطوح پیش آمده برابر با 10000 psi باشد، اندازه طولی از مهره را که باید درگیر شود، حساب کنید.

۵-۱۷ قطر خارجی قطعه آلومینیومی شکل (۵-۸) برابر 25 mm است. جنس پیچ از فولاد و قطر آن 12 mm است. گشتاور وارد بر مهره تقریباً 68000 Nmm است. ماکزیمم بار P وارد بر قطعه را طوری تعیین کنید که کل نیروی فشاری اولیه از بین نرود. طول پیچ و قطعه با هم مساوی است و قسمت دندانه دار پیچ بلافاصله در بالای مهره تمام شده است.

(جواب) $P = 73780\text{ N}$

۵-۱۸ اصطکاک یاتاقان فشارگیر یک پیچ دندانه مربعی قابل صرفنظر، و ضریب اصطکاک دندانه‌های آن (μ_1) معادل 0.14 است. این پیچ موقع نگه داشتن بار، درست در نقطه برگشت‌پذیری قرار می‌گیرد. راندها این پیچ موقع بلند کردن بار چقدر خواهد بود.

۵-۱۹ در مساله ۱۱ مقدار راندمان را ۷۵٪ فرض کرده و آنرا حل کنید.

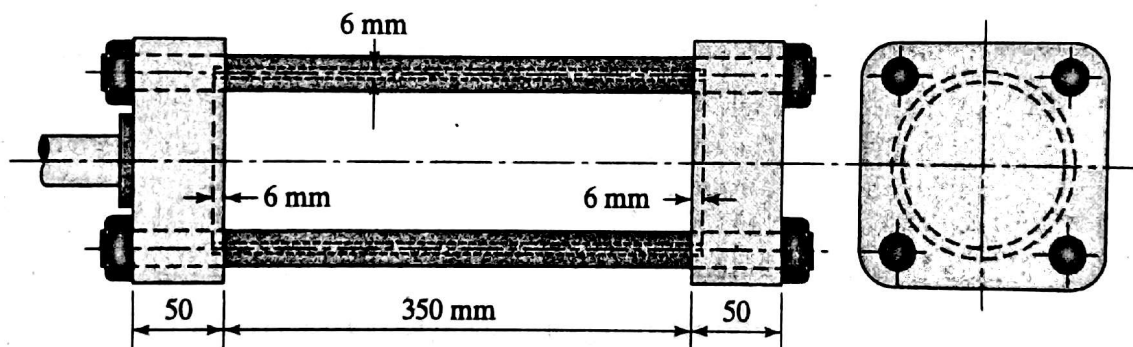
۵-۲۰ مساله ۱۴ را برای قدرت ورودی ۰.۹۵ اسب بخار حل کنید.

۵-۲۱ مساله ۱۳ را برای توان ۴.۵ اسب بخار حل کنید.

۵-۲۲ یک پیچ دندانه مربعی در شرایط برگشت قرار دارد. راندمان آن در موقع بلند کردن بار ۰.۴۹ است. اگر اصطکاک یاتاقان فشارگیر این پیچ قابل صرفنظر باشد، ضریب اصطکاک دندانه‌های آنرا حساب کنید.

۵-۲۳ یک پیچ با یاتاقان ضد اصطکاک دارای راندمان ۶۰٪ است. زاویه مارپیچ آن 12° است. اگر قطر گام ۲ in. باشد، گشتاور لازم برای وارد کردن نیروی ۲۰۰۰ lb را حساب کنید.

۵-۲۴ جنس پیچها در شکل (۵-۲۱) از فولاد سرد-کشیده ۸۷۴۰ است. قطر این پیچها ۲۰ mm و گام آنها ۱.۵ mm است. دندانه‌های آنها ماشینکاری شده‌اند. $K = 3.85$ و قطر داخلی استوانه فولادی ۱۰۰ mm است. فشار سیال بطور پیوسته از ۰ تا ۱۴ MPa تغییر می‌کند. فرض کنید صفحات انتهایی صلب باشند. اگر مقدار F_s برای پیچها ۴ باشد، مقدار نیروی اولیه F_0 را حساب کنید.



شکل ۵-۲۱

۵-۲۵ در مثال ۵-۳ مقدار زاویه پیشروی α را با تقریب 0.5° طوری تعیین کنید که پیچ چهار دندانه آکمه در شرایط برگشت قرار گیرد.

۵-۲۶ در مثال ۵-۳، با فرض $\mu_1 = \mu_2$ مقدار این ضریب اصطکاک را طوری تعیین کنید که پیچ چهار دندانه آکمه، درست در شرایط برگشت قرار گیرد. (جواب) $\mu = 0.086$

۵-۲۷ قطر یاتاقان فشارگیر یک پیچ با دندانه‌های 60° استاندارد برابر با میانگین قطر پیچ و طول آچار خور مهره شش گوش آن است. گشتاور لازم برای تولید نیروی گیره‌ای W از رابطه $T = CdW$ به دست می‌آید. اگر مشخصات پیچ به صورت $3/4"-10UNC$ باشد، به ازای $\mu_1 = \mu_2 = 0$ مقدار C را برای این پیچ تعیین کنید. (جواب) $C = 0.1949$; $\mu_1 = \mu_2 = 0.15$

۵-۲۸ مسئله ۵-۲۷ را برای پیچ $3/4"-10UNC$ و به ازای $\mu_1 = \mu_2 = 0.10$ دوباره حل کنید. (جواب) $C = 0.1368$

۵-۲۹ مسئله ۵-۲۷ را برای پیچ $3/4''-16\text{ UNF}$ و به ازای $\mu_1 = \mu_2 = 0.15$ حل کنید.
 $C = 0.1894$ (جواب)

۵-۳۰ مسئله ۵-۲۷ را برای پیچ $3/4''-16\text{ UNF}$ و به ازای $\mu_1 = \mu_2 = 0.10$ حل کنید.
 $C = 0.1306$ (جواب)

۵-۳۱ پیچ شکل (۵-۸) از نوع $1/2''-13\text{ UNC}$ است. دندانه های این پیچ به روش ماشینکاری و از فولاد سرد - کشیده ۱۰۴۵ ساخته شده است. ضریب تمرکز تنش ۲ فرض شود. گشتاور پیچشی اولیه برابر با 300 in.lb است. ضریب اصطکاک را 0.15 در نظر بگیرید. بار P به طور پیوسته از 1000 lb تا 3000 lb تغییر می‌کند. مساحت قطعه برابر با 0.5 in^2 است. ضریب اطمینان پیچ را به دست آورید. حداقل نیرو در قطعه را پیدا کنید.
 $F_S = 2.85; F_{P(\min)} = -1354\text{ lb}$ (جواب)

۵-۳۲ پیچ شکل (۵-۸) از نوع $1''-12\text{ UNF}$ است. دندانه های این پیچ به روش ماشینکاری ساخته شده است. جنس پیچ از فولاد نورد گرم ۸۷۴۰ است. ضریب تمرکز تنش برابر با ۲ است. گشتاور اولیه 1200 in.lb است. ضریب اصطکاک را 0.10 در نظر بگیرید. مقدار بار از 5000 lb تا 10000 lb تغییر می‌کند. مساحت قطعه 2 in^2 و جنس آن از فولاد است. ضریب اطمینان پیچ را تعیین کنید. نیروی حداقل در قطعه را بدست آورید.
 $F_S = 4.18; F_{P(\min)} = 2051\text{ lb}$ (جواب)

۵-۳۳ پیچ شکل (۵-۸) از نوع $3/8''-16\text{ UNC}$ است. دندانه های این پیچ سنگ زنی شده است و جنس آن از فولاد سرد - کشیده ۱۱۳۷ است. ضریب تمرکز تنش ۲ و گشتاور اولیه 175 in.lb است. ضریب اصطکاک را 0.10 فرض کنید. مقدار بار P به طور پیوسته از صفر تا 2000 lb تغییر می‌کند. مساحت قطعه 0.3 in^2 و جنس آن از فولاد است. ضریب اطمینان پیچ را تعیین کنید. حداقل نیرو در قطعه را به دست آورید.
 $F_S = 1.66; F_{P(\min)} = -1264\text{ lb}$ (جواب)

۵-۳۴ پیچ شکل (۵-۸) از نوع $5/8''-11\text{ UNC}$ است. دندانه های این پیچ به روش سنگ زنی ساخته شده است و جنس آن از فولاد سرد - کشیده ۱۰۴۵ است. ضریب تمرکز تنش ۲.۵ است. گشتاور اولیه برابر با 500 in.lb و ضریب اصطکاک 0.10 است. مقدار بار به طور پیوسته از 1000 lb تا 5000 lb تغییر می‌کند. مساحت قطعه 1.5 in^2 و جنس آن از فولاد است. ضریب اطمینان پیچ را تعیین کنید. حداقل نیرو در قطعه را پیدا کنید.
 $F_S = 2.81; F_{P(\min)} = -1775\text{ lb}$ (جواب)

کنترل (۴-۲) $\sigma_{ult} = 103000\text{ psi}$
 (شکل ۴-۲۶) $\sigma_e = 48000\text{ psi}$