

به نام خدا

پروژه ی درس طراحی اجزا 1

طراحی شیر اطمینان

استاد درس:

دکتر جلالی

طراحان:

سینا تقی زاده

محمد خراسانی

تشخیص نیاز:

بسیاری از قطعات مورد استفاده در صنعت مثل لوله ها، شیرآلات، مخازن تحت فشار و... که با یک سیال کار میکنند دارای ماکزیمم فشاری میباشند که در صورت افزایش فشار بیش از آن مقدار، قطعه ی مذکور دچار مشکل خواهد شد؛ حال این مشکل میتواند مواردی همچون خلل در عملکرد درست و پیش بینی شده برای قطعه، کاهش عمر یا حتی خراب شدن آنی آن و یا مواردی از این قبیل باشد.

با این مقدمه میتوان این موضوع را دریافت که طراحی و ساخت قطعه ای برای اینکه اجازه ندهد تا این قطعات در معرض فشار بیش از فشار ماکزیمم بیان شده برای آنها قرار بگیرند؛ امری ضروری است.

لذا با توجه به ضرورت آن ما نیز در ادامه به آن میپردازیم.

تعریف مسئله:

ما بایستی قطعه ای طراحی کنیم که در مسیر سیال ورودی به دستگاهی که باید از آن در برابر فشار بیش از حد توان آن جلوگیری شود، قرار گیرد (با توجه به دستگاهی که از آن محافظت میشود این فشار متغیر است) و اجازه ی ورود سیال با فشار بیشتر را ندهد.

در این پروژه فرض ابتدایی ما بر این است که فشار ماکزیمم دستگاهی که قرار است از آن محافظت کنیم 5bar میباشد یعنی در صورت افزایش بیشتر فشار، قطعه ی طراحی شده ی ما باید طوری عمل کند این فشار را به زیر فشار بحرانی برساند.

همچنین این قطعه ی ما بایستی به گونه ای باشد که تحت فشار های پایین از فشار بحرانی، خللی در عملکرد دستگاه وارد نکند و فقط در مواقع لزوم وارد عمل شده و از دستگاه محافظت کند .

طبیعتاً قطعه ی ما بایستی یک ورودی یا انشعاع از فشاری که میخواهد آن را بررسی و طبق آن عمل کند داشته باشد. همچنین برای کاهش فشار بایستی یک خروجی نیز به محلی دیگر داشته باشد.

همچنین بایستی عضو نسبتاً هوشمندی داشته باشد که تشخیص دهد چه زمانی باید این کار تخلیه را انجام داده و چه زمانی متوقف شود. علاوه بر این ها این عضو باید قابلیت تنظیم برای فشار های مختلف را نیز داشته باشد. حال یا درون خودش این مسئله تعبیه شود یا توسط عضوی دیگر این مسئله حل شود.

ایده ها:

برای این عضو هوشمند که در قسمت قبل بیان شد میتوان از یک سنسور الکترونیکی قابل تنظیم که به فشار بیشتر از فشار بحرانی دستگاه حساس میباشد استفاده کرد به این صورت که در فشار های بالاتر دریچه ی خروج را باز بکند و پس از بازگشت به فشار نرمال دریچه را ببندد.

ایده ی دیگر استفاده از تعدادی وزنه میباشد که با توجه به فشار مورد نیاز ما روی قسمت ورودی سیال قرار گیرد و این وزنه ها طوری گذاشته شوند که سیال وقتی به فشار بحرانی برای دستگاه رسید بتواند وزنه ها را کنار زده و راه خود را به خروجی باز کند و پس از نرمال شدن فشار دوباره این وزنه ها خروجی را مسدود کنند.

ایده ی دیگر که عملکردی مشابه ایده ی قبل دارد استفاده از فنر میباشد که رفته رفته با افزایش فشار سیال فشرده تر شده و زمانی که به فشار مورد نظر میرسد، راه خروجی را باز کند و پس از برگشت فشار به حالت نرمال، این راه را ببندد.

تجزیه و تحلیل ایده ها با توجه به قوانین موجود:

با توجه به استفاده کردن این قطعه در محیط هایی که با سیالات سروکار داریم شاید ایده ی اول که استفاده از سنسور الکترونیکی فشار بود چندان مناسب نباشد همچنین این مورد نیاز به یک منبع انرژی خارجی نیز خواهد داشت که بایستی تامین شود و امکان خطا نیز در آن به دلیل مشکل در منبع انرژی، تماس با سیال یا موارد مشابه ریسک استفاده از آن را افزایش میدهد.

علاوه بر این ها هزینه ی استفاده از این سنسور احتمالاً در هزینه ی تمام شده ی محصول تغییرات زیادی ایجاد خواهد کرد شاید به صرفه نباشد.

ایده ی دوم استفاده از تعدادی وزنه بر خلاف ایده ی اول نیازی به منبع انرژی خارجی نخواهد داشت لذا از این منظر نسبت به مورد قبل بهتر است. ولی وجود تعدادی وزنه با توجه به فشار های بالایی که قرار است قطعه با آن کار کند حتما وزن و فضای زیادی را اشغال خواهد کرد که اصلا مناسب نیست و به تبع آن هزینه ی بالایی نیز در پی خواهد داشت.

ایده ی سوم که استفاده از فنر است همانند مورد بالا نیاز به منبع انرژی خارجی ندارد و همچنین بر خلاف مورد بالا فضا و وزن زیادی نیز اشغال نخواهد کرد و از نظر اقتصادی به صرفه تر از دو مورد قبل خواهد بود.

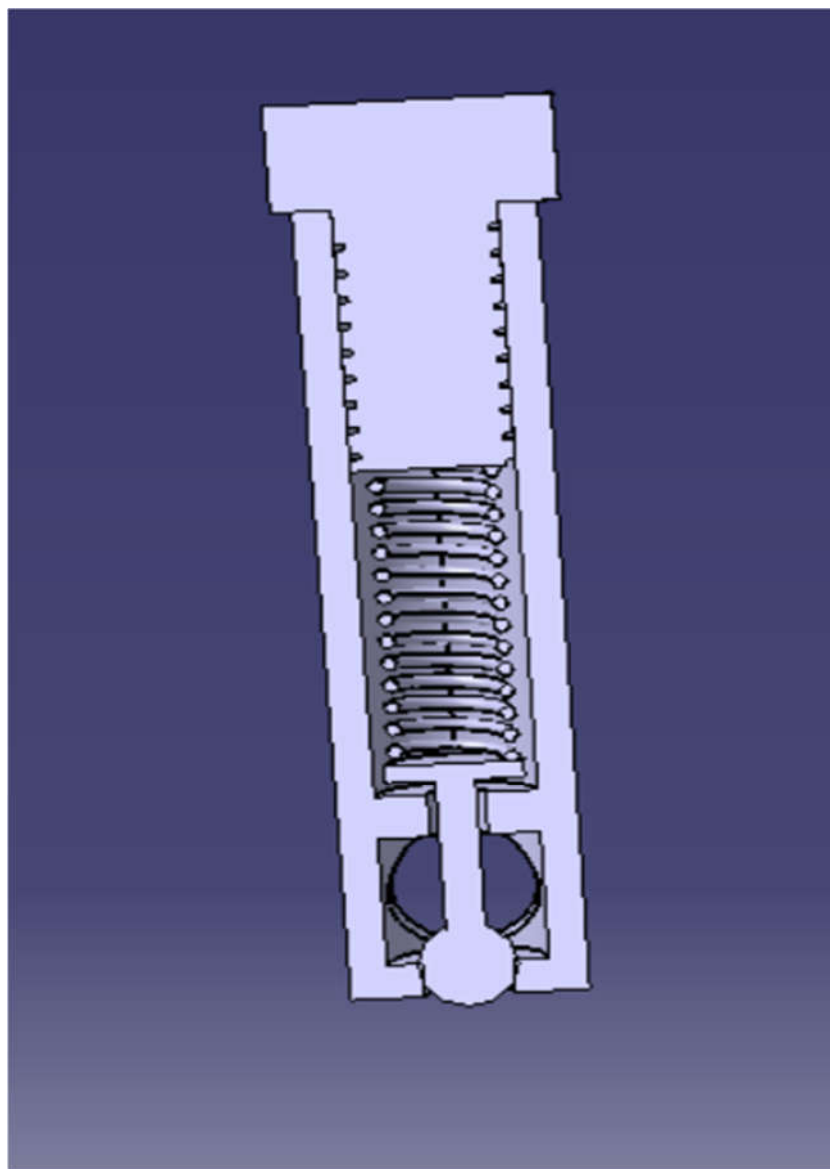
در رابطه با قابل تنظیم بودن آن نیز میتوان با فشردن و یا آزاد کردن آگاهانه ی آن تغییراتی در نیرویی که به دریچه ی ورودی وارد میکند ایجاد نمود و تحت فشار های مختلف دلخواه از آن بهره برد.

این مسئله را میتوان به وسیله ی یک پیچ که به یک سر فنر وصل میباشد انجام داد به این صورت که با چرخاندن پیچ میتوان طول اولیه ی فنر را تغییر داده و با توجه به دانستن گام و پیشروی پیچ این مورد را قابل تنظیم توسط کاربر قرار داد.

انتخاب طرح بهینه با توجه به اهداف تعریف شده:

در نهایت طرحی که مطرح میشود همان شیر اطمینان مرسوم در بازار است که دارای یک ورودی ، یک خروجی ، یک ساچمه که مسیر را مسدود کرده و آب بندی را نیز بهتر انجام دهد، یک فنر که با توجه به فشار مورد نظر طراحی شود و بالای ساچمه قرار گیرد و در نهایت پیچ که با توجه به تنش های وارده به آن طراحی شده و قابلیت حرکت نیز با توجه به نیاز کاربر به فشار های مختلف داشته باشد.

یک شماتیک کلی از این طرح به صورت زیر در نرم افزار کتیا مدل شده است:



طراحی فنر:

برنامه ای برای این منظور در پایتون نوشته ایم که برای $\text{set pressure} = 5\text{bar}$ آنرا اجرا نموده ایم نتایج آن به شرح زیر شده است:

$$F_{\min} = 31.808619 \text{ N}$$

$$P_{\text{reseating}} = 4.0500000000000001 \text{ bar}$$

blow_down = 0.9499999999999997 bar

k = 3.1808619 N/mm

Fmax = 63.617238 N

P_max (full open mode) = 8.100000000000001 bar

تمام فنرهای پیشنهادی:

{-816.6871368531117: {'d': 1.5000000000000002, 'Sut':
1650.7982657433342, 'Ssy': 742.8592195845005, 'C':
7.537810701259146, 'D': 11.30671605188872, 'Fs':
73.15982369999999, 'Na': 11.010594399063397, 'Ls':
19.515891598595097, 'k': 3.1808619, 'Lo': 42.51589159859509, 'ys':
22.999999999999993, 'Locr': 59.47332643293467, 'nf':
1.4999999999999996, 'ns': 1.1559012752870854, 'fom': -
816.6871368531117}, -835.7441061690088: {'d':
1.6000000000000003, 'Sut': 1630.6792557350602, 'Ssy':
733.8056650807772, 'C': 8.789102671550067, 'D':
14.06256427448011, 'Fs': 73.15982369999999, 'Na':
7.408692251120687, 'Ls': 15.053907601793103, 'k': 3.1808619, 'Lo':
38.0539076017931, 'ys': 22.999999999999996, 'Locr':
73.96908808376537, 'nf': 1.4999999999999998, 'ns':
1.1418137942128275, 'fom': -835.7441061690088}, -
872.9453620835576: {'d': 1.7000000000000004, 'Sut':
1612.0037512811089, 'Ssy': 725.401688076499, 'C':
10.11474647640894, 'D': 17.1950690098952, 'Fs': 73.15982369999999,
'Na': 5.11943817021121, 'Ls': 12.10304488935906, 'k': 3.1808619, 'Lo':
35.103044889359055, 'ys': 22.999999999999993, 'Locr':
90.44606299204875, 'nf': 1.5, 'ns': 1.1287370665090752, 'fom': -
872.9453620835576}, -940.053836351354: {'d': 1.8000000000000005,

'Sut': 1594.5919496237675, 'Ssy': 717.5663773306953, 'C':
11.51625570620062, 'D': 20.729260271161124, 'Fs':
73.15982369999999, 'Na': 3.672628441246653, 'Ls':
10.210731194243978, 'k': 3.1808619, 'Lo': 33.21073119424398, 'ys':
23.0, 'Locr': 109.03590902630751, 'nf': 1.5000000000000007, 'ns':
1.1165451929419539, 'fom': -940.053836351354}}

بهترین فنر با توجه به fom فنر زیر میباشد که برنامه به ما میدهد:

Specifications of The best spring :

d': 1.5000000000000002, 'Sut': 1650.7982657433342,
'Ssy': 742.8592195845005, 'C': 7.537810701259146,
'D': 11.30671605188872, 'Fs': 73.15982369999999,
'Na': 11.010594399063397, 'Ls': 19.515891598595097,
'k': 3.1808619, 'Lo': 42.51589159859509,
'ys': 22.999999999999993, 'Locr': 59.47332643293467,
'nf': 1.4999999999999996, 'ns': 1.1559012752870854,
'fom': -816.6871368531117e-9

با توجه به آزمون و خطا های موجود بهتر است فنر برای فشار 5bar ابتدا توسط پیچ به اندازه ی
10 میلیمتر فشرده شود و فشردگی نهایی نیز که ناشی از بیشترین فشار قابل تحمل است
20میلیمتر در نظر گرفته میشود .

اگر set point به جای 5 بار که ما طراحی را برای آن انجام داده ایم فشار کمتری مانند 4 بار
شود فقط لازم است فشردگی اولیه را تغییر داد(کمتر کرد) که برای آن نیز گزینه ای در برنامه در
نظر گرفته شده است.مثلا همین فنر بالا را اگر بخواهیم برای 4بار به کار ببریم؛ فشردگی اولیه به
جای 10 میلیمتر بایستی 8 میلیمتر باشد یعنی با توجه به گام پیچ که در اینجا 2 میلیمتر
میباشد ی دور باید آن را در جهت پادساعتگرد بچرخانیم .

برای اطمینان بیشتر داده های پیشنهادی بالا را به صورت دستی نیز چک کرده ایم. (عکس پایین)

$$F_{min} = (0.5 \text{ mPa}) \pi \frac{(y_{min}^2)}{4} = 31.8 \text{ (N)} \rightarrow y_{min} = 10 \text{ mm} \rightarrow k = \frac{F_{min}}{y_{min}} = \frac{31.8}{10} \frac{\text{N}}{\text{mm}} = 3.18 \left(\frac{\text{N}}{\text{mm}} \right)$$

(فشار) < (مختصات)

$$F_{max} = k y_{max} = 3.18 \times 20 = 63.6 \text{ (N)}$$

$$d = 1.5 \text{ mm} \quad n_f = 1.5$$

$$S_{ut} = \frac{A}{d^m} = \frac{1783}{(1.5)^{0.19}} = 1650.8 \text{ mPa} \rightarrow \begin{cases} S_{sy} = 0.45 S_{ut} = 742.8 \text{ mPa} \\ S_{sa} = 0.67 S_{ut} = 1106 \text{ mPa} \end{cases}$$

Zimmerlitz : unpeened : $S_{sa} = 241 \text{ mPa} \quad S_{sm} = 379 \text{ mPa}$

sine تئوری $S_{sa} = S_{se} = 241 \text{ mPa} \quad \alpha = \frac{S_{se}}{n_f} = \frac{241}{1.5} = 160.6 \text{ mPa}$

$$F_m = \frac{F_{min} + F_{max}}{2} = 47.7 \text{ mPa} \quad \beta = \frac{8 F_m}{\pi d^2} = \frac{8 (15.9)}{\pi (1.5^2)} = 18$$

$$F_a = \frac{F_{max} - F_{min}}{2} = 15.9 \text{ mPa} \rightarrow c = \frac{2\alpha - \beta}{4\beta} + \sqrt{\left(\frac{2\alpha - \beta}{4\beta} \right)^2 - \frac{3\alpha}{4\beta}} = 7.53$$

$$\rightarrow D = c d = 7.53 \times 1.5 = 11.3 \text{ mm}$$

$$F_s = (1 + \beta) F_{max} = (1 + 0.15) 63.6 = 73.15 \text{ (N)} \rightarrow y_s = \frac{F_s}{k} = 23 \text{ mm}$$

10-5 (محدود) $G = 80 \text{ (GPa)} \rightarrow N_a = \frac{d^4 G}{8 D^3 k} = \frac{(1.5)^4 (80000)}{8 (11.3)^3 (3.18)} = 11$

تعداد درستی $N_t = 2 + N_a = 13$ $L_s = d N_t = 1.5 \times 13 = 19.5 \text{ mm}$

$$L_o = L_s + y_s = 19.5 + 23 = 42.5 \text{ mPa}$$

$$L_o < (L_o)_r < \frac{2.63 D}{\alpha} = \frac{2.63 \times 11.3}{0.5} = 59.4 \text{ mm} \quad k_B = \frac{4c + 2}{4c - 2} = \frac{4(7.53) + 2}{4(7.53) - 3} = 1.18$$

$$\tau_a = k_B \frac{8 F_a D}{\pi d^3} = 1.18 \frac{8 (15.9) (11.3)}{\pi (1.5)^3} = 160.0 \text{ mPa} \rightarrow \tau_m = \tau_a \frac{F_m}{F_a} = 477.1 \text{ mPa}$$

$$\tau_s = \tau_a \frac{F_s}{F_a} = 73.15 \times \frac{160}{15.9} = 736.1 \text{ mPa}$$

$$\tau_{max} = \tau_a \frac{F_{max}}{F_a} = 640 \text{ mPa}$$

$$\rightarrow n_f = \frac{S_{sa}}{\tau_a} = \frac{241}{160} = 1.5$$

$$n_s \rightarrow \frac{S_{sy}}{\tau_s} = \frac{742.8}{736.1} = 1.01$$

$$\frac{S_{sy}}{\tau_{max}} = \frac{742.8}{640} = 1.16$$

$$f_{om} = -(\text{relative material const}) \pi^2 d^2 N_t \frac{D}{4} = -(1) (\pi^2) (1.5 \times 10^{-3})^2 (13) \frac{11.3 \times 10^{-3}}{4} = -815.6 \times 10^{-9}$$

طراحی پیچ:

با توجه به ابعاد فنر طراحی شده پیچ های M14 و M16 قابل بررسی است.

با توجه به مقاومت پیچ ها و نیروهای اعمالی به پیچ (که همان نیروهای اعمالی به فنر است) ضرایب اطمینان بزرگی بدست می آید و طیف گسترده ای از پیچ های استاندارد قابل قبول خواهد بود.

لذا ما برای نمونه روی M16 - 8.8 تنش ها را بررسی کردیم و ضرایب اطمینان بسیار بزرگ شد. (عکس پایین)

$$\delta_x = \frac{6(0.38F)}{\pi d_r P}, \quad \delta_y = \frac{-4F}{\pi d_r^2}, \quad \tau = \frac{16T}{\pi d_r^3} = 0$$

$$\delta_{x_{min}} = 6(0.38 \times 31.8) / (\pi d_r P) = \frac{23.07}{d_r P} \quad \delta_{y_{min}} = \frac{-4 \times 31.8}{\pi d_r^2} = -\frac{40.5}{d_r^2}$$

$$\delta_{x_{max}} = 6(0.38 \times 63.6) / (\pi d_r P) = \frac{46.15}{d_r P} \quad \delta_{y_{max}} = 2 \delta_{y_{min}} = -\frac{81}{d_r^2}$$

$$M16-8.8 \rightarrow \begin{matrix} 8.8 \\ \text{فول} \end{matrix} S_e = 129 \text{ mpa} \quad S_y = 660 \text{ mpa} \quad S_{ut} = 830 \text{ mpa} \quad P = 2 \text{ mm}$$

$$d_r = d - P = 16 - 2 = 14 \text{ mm}$$

$$\rightarrow (\delta_x)_{min} = 0.82 \text{ mpa} \quad \delta_{y_{min}} = -0.204 \text{ mpa} \quad (\delta_x)_{max} = 1.64 \text{ mpa} \quad \delta_{y_{max}} = -0.413 \text{ mpa}$$

$$\delta' = \frac{1}{\sqrt{2}} \left(\delta_x^2 + \delta_y^2 + (\delta_x - \delta_y)^2 \right)^{\frac{1}{2}} \rightarrow \delta'_{min} = 0.935 \text{ mpa} \quad \delta'_{max} = 1.85 \text{ mpa}$$

$$n_s = \frac{S_y}{\delta'_{max}} = \frac{660}{1.85} = 357 (!) \text{ Big value}$$

$$\delta'_m = \frac{\delta'_{max} + \delta'_{min}}{2} = 1.402 \text{ mpa} \quad \delta'_a = \frac{\delta'_{max} - \delta'_{min}}{2} = 0.467 \text{ mpa}$$

$$\rightarrow \text{modified Goodman: } n_f = \frac{1}{\frac{\delta'_a}{S_e} + \frac{\delta'_m}{S_{ut}}} = \frac{1}{\frac{0.467}{129} + \frac{1.402}{830}} = 186 (!) \text{ Big value}$$

طراحی بدنه:

1- طراحی ضخامت ورودی شیر که ساچمه روی آن مینشینند:

در اینجا بارگذاری خستگی ناشی از نیرویی که ساچمه به ورودی وارد میکند داریم. نیروهای وارده از 0 تا F_{min} تغییر میکند. (جنس بدنه Steel1006HR علت انتخاب در قسمت دوم)

ضریب اطمینان را 2 فرض کرده و ضخامت را با معیار گودمن به شکل عکس پایین محاسبه میکنیم.

محاسبه ضخامت پایه بدنه (نشیمنگاه ساچمه) با ضریب اطمینان خستگی 2

فرم کلی تنش بدنه فولاد (1006-HR)


$S_{ut} = 700 \text{ mPa}$ $S_y = 170 \text{ mPa}$

$S'_e = \frac{1}{P} S_{ut} = 150 \text{ mPa}$

$S_e = K_a K_b K_c S'_e$

$l = \text{bending}$

F, F_{min}, F_o
 r, l, n



برای االان

$$M_{max} = (t d l) a = \frac{F d l a}{\pi d} \rightarrow \sigma_{max} = \frac{M c}{I} = \frac{(F d l a) a}{\frac{\pi d^4}{64}} = \frac{16 F a^2}{d^3 t^3}$$

$z = 0$

ساده کردن $\rightarrow \sigma_{min} = 0$

$$\sigma_{max} = \frac{16 F a^2}{d^3 t^3} \rightarrow \sigma_a = \sigma_m = \frac{1}{2} \sigma_{max}$$

modified Goodman $\rightarrow \frac{1}{n} = \frac{\sigma_a}{S_{eq}} + \frac{\sigma_m}{S_{ut}}$

$K_a = a S_{ut}^b = 7,01 (r_{min})^{-0,245} = 0,99$

$d_e = 0,101 \sqrt{r_{min} \times 12,07} = 9,47 \text{ mm} \rightarrow K_b = 1,24 (9,47)^{-0,19} = 0,94$

$K_c = 1$

$\rightarrow \frac{1}{n} = \frac{\frac{1}{2} \sigma_{max}}{144} + \frac{\frac{1}{2} \sigma_{max}}{700} \rightarrow \frac{t^3}{r \times 19, F} = \frac{1}{144} + \frac{1}{700} \rightarrow t = 2,5 \text{ mm}$

دقت میکنم

تکرار

تایید میکنم

اول

$\frac{F}{n S} = \frac{S_y}{\sigma_{max}} = \frac{170 \times t^3}{r \times 19, F} = 2 \rightarrow t = 2,4 \text{ mm}$

ضخامت نهایی ناشی از خستگی با معیار گودمن برابر 2.5 میلیمتر میشود.
 از نظر استاتیکی لانگر نیز بررسی را انجام میدهیم و ضخامت 2.6 میلیمتر میشود.
 پس در نهایت ضخامت 2.6 میلیمتر انتخاب میشود.

2- طراحی قسمت رزوه شده:

فرض میکنیم جنس بدنه Steel1006HR باشد. (ضعیف ترین فولاد موجود در کتاب) چرا که اگر برای این فولاد محاسبات را انجام دهیم برای فولادهای دیگر نیز با ضریب اطمینان بالاتر جوابگو خواهد بود.

قسمتی از بدنه که با پیچ رزوه شده است تنش هایش معادل تنش های روی پیچ است و رزوه ی بحرانی نیز اولین رزوه است با توجه به این که تعداد رزوه های پیچ که بیشتر از 7 عدد میباشد اولین رزوه 38٪ کل بار وارده را تحمل میکند.

همان محاسبات مربوط به پیچ را با متریالی که برای بدنه در نظر گرفته ایم انجام میدهیم و ضریب اطمینان با معیار گودمن برابر 126 میشود و از نظر استاتیکی 92 خواهد بود که کاملاً ایمن است.

Handwritten calculations:

$$n_p = \frac{1}{\frac{\sigma'_a}{S_e} + \frac{\sigma'_m}{S_{ut}}} = \frac{1}{\frac{9.427}{166} + \frac{1.42}{200}} = 1.24$$

$$n_s = \frac{S_y}{\sigma'_{max}} = \frac{170}{1.15} = 92$$

Labels on the left side of the equations:

- فشار رزوه شده (Threaded part stress)
- محاسب (Calculation)
- پیچ (Screw)
- وکل با اینس (Whole with this)
- 1006 HR

نقشه ی ساخت در کتیا:

