# محاسبه محور پیستون و تکیه‌گاه آن

نوشته
مهندس کریم نیکو
استاد دانشکده فنی

موضوع محاسبه محور پیستون وتکیه گاه آن یک مسئله ساده بنظر میرسد ولی هرقدر صنایع موتور پیشرفت مینماید راه‌های تازه‌ای برای جنس وابعاد قطعات موتورآشکارمیگردد درینجا محورپیستون بخصوص تکیه گاه محور را درنظر میگیریم و دامنه یک محاسبه قبلی آنها گسترش یافته است ومشاهدات درآزمایشات و بررسی در ضایعات فراهم گشته درکار موتور درین قطعات محور و تکیه گاه هردفعه خود راهنمای خوبی برای متالورژیست‌ها و مهندسین موتور میباشند اینک درینجا قسمتی ازمحاسبات جدید این دوقطعه منظور را ذکر مینمائیم .

ازدونظر کلی مقاومت مصالح وانتقال حرارت میتوان محورپیستون وتکیه گاه آنرا مورد توجه قرارداد وتعیین کرد چه جنس و چه ابعادی برای هرکدام مناسب میباشد این دونظر ازینقرار است .

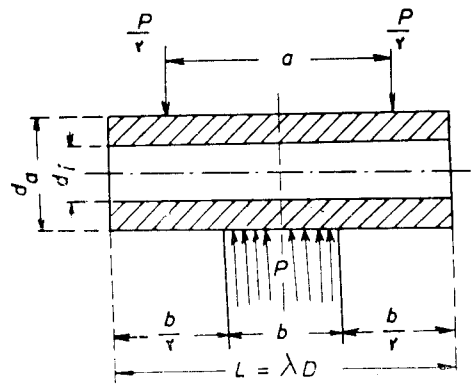
۱ ـ محاسبات این قطعات ازنظر قوای وارده بآنها که دراثر احتراق گاز درسیلندر است که بوسیله پیستون و تکیه گاه بمحور و از آنجا بدستک موتور میرسد و دیگر قوای اینرثی را باید ذکر کرد که بستگی بجسم متحرک وشتاب آن درحرکت دارد و بالاخره وزن قطعات که وضع قرارگرفتن این قطعات درقوای مؤثر بوده وزن آنها تغییر مینماید .

۲ ـ محاسبات قطعات منظورکه وسیله انتقال حرارت داخل سیلندر از راه پیستون و این قطعات بخارج میباشند و این قطعاب با بالارفتن درجه حرارت منبسط گشته و این انبساط در ارتباط محور و پیستون ایجاد مشکلاتی مینماید وازین نظر تکیه گاه محور را مخصوصاً باید مورد توجه قرارداد .

## قسمت اول ـ محاسبات محور پیستون وتکیه‌گاه آن از نظر قوای وارده

**۱ـ تعیین میزان خمیدگی یا فلش محور ـ** برای سهولت محاسبه پیستون موتوری را درنظر میگیریم که قطر آن میلیمتر $D=۱۰۰$ و فشار ماکزیمم گازدرداخل سیلندر اتمسفر $pz=۱۰۰$ . هرگاه نسبت قطر

خارجی محور به قطرپیستون را به (△) ونسبت قطرداخلی محور بقطر خارجی محور به (δ) اختیارگردد قوای وارده ازگاز منتقله بمحور مطابق شکل (۱) خواهد بود .



شکل (۱)

میزان خمیدگی ماکزیمم یا فلش حداکثر محور را از روی این رابطه مشخص مینمایند :

$$fs = ۲ \frac{a^۳}{۴۸} \times \frac{P}{E.\,Ja} \text{ cm} \qquad (۱)$$

درین رابطه (۲) مقدارش بستگی بطرزتقسیم قوا روی محور دارد وآنرا ازروی این رابطه درشکل یک بدست میآورند .

$$۲ = ۱ - \frac{b}{۲a} \qquad (۲)$$

حال اگر (D) قطر پیستون و (da) قطرخارجی محور و (di) قطرداخلی محور و (L) طول محور باشد وچون محورازفولادمیباشدپس $E = ۲{,}۱ \times ۱۰^۶ \frac{kg}{cm^۲}$ استوممان اینرژی نسبت به اقطارمحور $Ja = ۰{,}۰۴۹(da^۴ - di^۴)$ میباشد و انتخاب ضریب (λ) که نسبت طول محور بقطر پیستون میباشد $L = \lambda D$ و (λ) را میتوان یک تابع سنیوسی از مقدار (△) دانست $\lambda = \sqrt{۱ - △^۲}$

دراین محاسبه فرض میشود قوه منتقله ازمحوربدستک بطوریکنواخت درطول (b) وارد میگردد بنابراین ابعاد (b) و (a) ازینروابط بدست میآیند :

$$a = \frac{۳}{۴} \lambda D \quad \text{و} \quad b = \frac{L}{۲} = \frac{D}{۲} \lambda$$

هرگاه فشار ماکزیمم گاز را (pz) بنامیم قوه وارده (P) بمحور را ازین رابطه بدست میآوریم :

$$P = \frac{pz \times \pi D^۲}{۴} \qquad (۳)$$

با بکار بردن

$$\delta = \frac{di}{da} \quad \text{و} \quad △ = \frac{da}{D}$$

و رابطه (۳) در رابطه (۱) مقدار فلش ماکزیمم میشود :

$$f_{۱۰} = ۰{,}۰۴۵ \times ۱۰ \frac{pz \cdot D}{△(۱ - \delta^۴)} (۱ - △^۲)\sqrt{۱ - △^۲} \qquad (۴)$$

ازرابطه (۴) اولاً نتیجه میشود میزان فلش مناسب با فشارگاز (pz) ونیز متناسب با قطرپیستون تغییرمینماید وبرای قطرثابتی ازپیستون وفشارهای کم ازگازوارد بکف پیستون میتوان رابطه (۴) بشکل ساده تری نوشت :

$$f_{۱۰} = \frac{K}{da^۴ - di^۴} \qquad (۵)$$

این حالت مخصوص که غالباً اتفاق میافتد مقدار فلش ماکزیمم باعکس ریشه چهارم قطرمحور تغییر میکند چون قطرداخلی محور افزایش یابد باریشه چهارم معکوس این مقدار فلش ترقی میکند - و نیزدر رابطه (٤) مقدار $\sqrt{1-\Delta^2}$ $(1-\Delta^2)$ عمل یک ضریب ترمیم کننده رادارد مقدارفلش ماکزیمم موقعی قابل قبول خواهد بود که تکیه گاه محور بدون مانع واشکالی کارنماید وبرای فشارهای زیاد گاز باید ناگزیرجدار قویتری برای تکیه گاه درنظر گرفت ولی باکمال تأسف افزایش زیادجدارتکیه گاه خاصیت فنری یاالاستیسه تکیه گاه را خواهد کاست عملاً درموتورهای دیزل قوی تکیه گاه محکم وضخیم اختیارمیکنند که اوراتکیه گاه سنگین مینامند ولی برعکس درموتورهای بنزینی تکیه گاه محور همیشه سبک انتخاب میگردد وقابلیت فنری آن بیشتر ازموتورهای دیزل میباشد درنتیجه باید مقدارفلش محورد رموتورهای دیزل خیلی کمترازفلش محورد رموتورهای بنزینی درنظر گرفته شود پس آزمایشات انجام یافته مقدارماکزیمم فلش درموتورهااین مقادیرتوصیه شده است میلیمتر $f_{10} \leqslant$ ۰٫۰۱۵ برای موتوردیزل میلیمتر $f_{10} \leqslant$ ۰٫۰٤ برای موتورهای بنزینی درجدول شماره (I) برای مقادیر (△) از ۰٫۲۵ تا ۰٫۵۰ و برای مقادیر (δ) از ۰٫٤۵ تا ۰٫۷۵ برای قطر پیستون $D = 10cm$ تحت فشارگاز اتمسفر $pz = 100$ مقدار فلش ماکزیمم برحسب میکرون یا هزارم میلیمترداده شده است برای موتورهای دیزل مقدار (△) ۰٫٤ اختیار میگردد که درآن مقدار (δ) قابل قبول میباشد .

**۲ - میزان تخم‌مرغی[1] شدن محور و محاسبه کم وزیاد شدن اقطارمحور -** تحت بارمحور قطرش درجهت بارکاهش یافته ولی قطرش درجهت عمود بربار وارده افزایش مییابد اگر تفاوت دوقطر تحت بار را به $(\delta_Q)$ درنظر بگیریم برحسب محاسبه دو عالم آلمانی (Föppel و Schlöke) این مقدار از رابطه زیر بدست میآید :

$$\delta_Q = \frac{1}{12} \times \frac{P \cdot r^3}{E \cdot J} \qquad (٦)$$

در رابطه فوق مقدار (P) بارماکزیمم وارده تحت (pz) برسطح پیستون بقطر (D) میباشد ومقدار (r) شعاع متوسط پیستون که بطول (L) میباشد بنابراین خواهیم داشت :

$$L = \lambda D = \sqrt{1-\Delta^2} \times D \quad \text{و} \quad \delta = \frac{di}{da} \qquad \Delta = \frac{da}{D} \qquad r = \frac{D \cdot \Delta(1-\delta)}{4} \qquad r = \frac{da+di}{4}$$

با درنظرگرفتن $D = 10cm$ وازمسفر $pz = 100$ رابطه (٦) به رابطه شکل (۷) درمیآید :

$$\delta_{Q10} = 4{,}7 \times 10^{-8} \times pzD \times \frac{(1+\delta)^3}{(1-\delta)^3} \times \frac{1}{\sqrt{1-\Delta^2}} \qquad (۷)$$

در رابطه (۷) مقدار $\frac{1}{\sqrt{1-\Delta^2}}$ یک فاکتور یا ضریب ترمیم کننده است با افزایش (△) مقدارش افزوده میگرددمانند رابطه فلش درینجا مقدارافزایش قطرعمود برجهت باررابطه مستقیم با (pz) وقطر (D) پیستون دارد وبرای فشارهای کم میتوان رابطه (۷) را بشکل ساده زیر شماره (۸) نوشت :

(۱) تخم مرغی شدنی ovalisation

# جدول شمارهٔ I

قطر پیستون $D = 10.\ cm$ — فشار ماکزیمم جوّ $p_s = 100$

| $\frac{\Delta da}{D}$ | فلش محور پیستون $f_{10}$ به $\frac{1}{1000}$ میلیمتر — $\delta = di/da$ | | | | | | افزایش قطر عرضی $\delta_{Q1.}$ به $\frac{1}{1000}$ میلیمتر — $\delta = di/da$ | | | | | | فشار ارکی سطح تقسیم‌گاه | خستگی نسبی محور $\sigma$ Kg/mm² — $\delta = di/da$ | | | | | وزن مخصوص پیستون $G$ $\gamma_e$ — $\delta = di/da$ | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | ۰/۴۵ | ۰/۵۰ | ۰/۵۵ | ۰/۶۰ | ۰/۶۵ | ۰/۷ | ۰/۴۵ | ۰/۵۰ | ۰/۵۵ | ۰/۶۰ | ۰/۶۵ | ۰/۷ | $\frac{kN}{cm^2}$ | ۰/۵ | ۰/۵۵ | ۰/۶ | ۰/۶۵ | ۰/۷ | ۰/۵ | ۰/۵۵ | ۰/۶ | ۰/۶۵ | ۰/۷ |
| ۰/۵ | ۴,۹ | ۵ | ۵,۲ | ۵,۴ | ۵,۷ | ۶,۱ | ۱۱ | ۱۵ | ۲۲ | ۳۶ | ۶۵ | ۱۰۰ | ۳۶۴ | ۱۱ | ۱۲ | ۱۴ | ۱۶ | ۱۹ | ۹۹۰ | ۹۳۰ | ۸۶۰ | ۷۶۰ | ۶۷۵ |
| ۰/۴۵ | ۷,۹ | ۸,۱ | ۸,۴ | ۸,۷ | ۹,۳ | ۱۰ | ۱۰,۹ | ۱۴,۳ | ۲۱,۵ | ۳۴,۲ | ۶۳ | ۹۷ | ۳۹۲ | ۱۵ | ۱۶ | ۱۹ | ۲۱ | ۲۵ | ۸۱۰ | ۷۶۰ | ۶۹۰ | ۶۲۰ | ۵۵۰ |
| ۰/۴۳ | ۱۰,۳ | ۱۰,۶ | ۱۱ | ۱۱,۵ | ۱۲,۵ | ۱۳,۲ | | | | | | | ۴۰۶ | ۱۷ | ۱۸ | ۲۱ | ۲۴ | ۲۸ | ۷۵۵ | ۷۰۲ | ۶۴۲ | ۵۸۰ | ۵۱۵ |
| ۰/۴۲ | ۱۱,۴ | ۱۱,۸ | ۱۲,۳ | ۱۲,۹ | ۱۳,۶ | ۱۴,۵ | | | | | | | ۴۱۴ | ۱۸ | ۱۹ | ۲۲ | ۲۵ | ۲۹ | ۷۳۲ | ۶۹۰ | ۶۳۰ | ۵۷۰ | ۵۰۰ |
| ۰/۴۱ | ۱۲,۹ | ۱۳,۳ | ۱۳,۹ | ۱۴,۴ | ۱۵,۲ | ۱۶,۳ | | | | | | | ۴۲۲ | ۱۹ | ۲۰ | ۲۳ | ۲۶ | ۳۰ | ۷۰۵ | ۶۶۰ | ۶۰۰ | ۵۴۵ | ۴۸۰ |
| ۰/۴۰ | ۱۴,۲ | ۱۴,۵ | ۱۵ | ۱۵,۷ | ۱۶,۸ | ۱۸ | ۱,۰۸ | ۱۴,۱ | ۲۱ | ۳۲ | ۶۱ | ۹۴ | ۴۳۲ | ۲۰ | ۲۱ | ۲۴ | ۲۷ | ۳۱ | ۰/۱۷ | ۶۳۰ | ۵۷۵ | ۵۲۰ | ۴۶۰ |
| ۰/۳۹ | ۱۶ | ۱۶,۴ | ۱۶,۹ | ۱۷,۶ | ۱۹ | ۲۰,۱۵ | | | | | | | ۴۴۲ | ۲۲ | ۲۳ | ۲۶ | ۲۹ | ۳۳ | ۶۴۲ | ۶۰۰ | ۵۵۰ | ۴۹۵ | ۴۳۵ |
| ۰/۳۸ | ۱۸,۳ | ۱۸,۷ | ۱۹,۳ | ۲۰,۲ | ۲۱,۳ | ۲۳ | ۱۰,۷ | ۱۴ | ۲۰,۵ | ۳۲,۸ | ۶۰,۵ | ۹۳ | ۴۵۲ | ۲۳ | ۲۴ | ۲۷ | ۳۱ | ۳۵ | ۶۱۰ | ۵۷۰ | ۵۲۰ | ۴۷۰ | ۴۱۴ |
| ۰/۳۷ | ۲۰,۶ | ۲۱,۱ | ۲۱,۸ | ۲۲,۵ | ۲۴ | ۲۶ | | | | | | | ۴۶۲ | ۲۴ | ۲۶ | ۲۹ | ۳۳ | ۳۷ | ۵۸۲ | ۵۴۲ | ۵۰۰ | ۴۵۰ | ۳۹۴ |
| ۰/۳۶ | ۲۳,۳ | ۲۳,۷ | ۲۴,۵ | ۲۵,۲ | ۲۶,۵ | ۲۹ | | | | | | | ۴۷۲ | ۲۶ | ۲۸ | ۳۱ | ۳۵ | ۴۰ | ۵۵۰ | ۵۰۶ | ۴۷۰ | ۴۲۵ | ۳۷۲ |
| ۰/۳۵ | ۲۶ | ۲۶,۶ | ۲۷,۵ | ۲۸,۸ | ۳۰ | ۳۲ | ۱۰,۶۵ | ۱۳,۸ | ۲۰ | ۳۲,۵ | ۵۹,۵ | ۹۲ | ۴۸۰ | ۲۸ | ۳۰ | ۳۴ | ۳۸ | ۴۳ | ۵۲۵ | ۴۹۰ | ۴۱۰ | ۶۰۰ | ۳۵۵ |
| ۰/۳۰ | ۵۰ | ۵۱,۵ | ۵۴ | ۵۶ | ۵۹ | ۶۴ | ۱۰,۵ | ۱۳,۶ | ۱۹,۵ | ۳۲,۲ | ۵۹ | ۹۱ | ۵۴۵ | ۴۳ | ۴۶ | ۵۰ | ۵۶ | ۶۵ | ۴۹۵ | ۴۶۸ | ۳۳۶ | ۳۰۳ | ۲۶۹ |
| ۰/۲۹ | ۶۰ | ۶۱ | ۶۳ | ۶۶ | ۷۰ | ۷۷ | | | | | | | ۵۶۵ | ۴۷ | ۵۰ | ۵۵ | ۶۲ | ۷۱ | ۳۷۱ | ۳۴۶ | ۳۱۷ | ۲۸۷ | ۲۵۳ |
| ۰/۲۸ | ۷۱ | ۷۲ | ۷۴ | ۷۷ | ۸۲ | ۹۰ | | | | | | | ۵۸۵ | ۵۲ | ۵۵ | ۶۰ | ۶۷ | ۷۸ | ۳۴۸ | ۳۲۵ | ۲۹۶ | ۲۷۰ | ۲۳۶ |
| ۰/۲۵ | ۱۰۹ | ۱۱۲ | ۱۱۶ | ۱۲۰ | ۱۲۸ | ۱۳۸ | ۱۰,۴ | ۱۳,۵ | ۱۹,۴ | ۳۲ | ۵۸,۵ | ۹۰ | ۶۵۵ | ۷۰ | ۷۴ | ۸۰ | ۸۸ | ۱۰۰ | ۲۷۵ | ۲۵۶ | ۲۳۵ | ۲۱۲ | ۱۹۶ |

فلش محور پیستون $f_{10}$ به $\frac{1}{1000}$ میلیمتر — $\delta = di/da$

- ۰/۴۵ تا ۰/۵۵: مربوط به مقررات DIN ۷۳۱۲۴ برای بیرینگ‌های دیزل
- ۰/۶ تا ۰/۷: مربوط به مقررات بیرینگ‌های موتورهای بنزینی

افزایش قطر عرضی $\delta_{Q1.}$ به $\frac{1}{1000}$ میلیمتر — $\delta = di/da$

- ۰/۴۵ تا ۰/۵۵: مربوط به موتورهای دیزل
- ۰/۶ تا ۰/۷: مربوط به موتورهای بنزینی

$$\delta_Q = K\frac{(da+di)^3}{(da-di)^3} \qquad (8)$$

تغییر مقطع محور پیستون و بیضی شدن آن بستگی بضخامت محور یعنی :

$$e=\frac{da-di}{2}$$

دارد با تعیین مشخصات محور هرقدر قطرخارجی محور کوچکترباشد یعنی مقدار (△) کوچکتر میگردد برای اینکه مقدارافزایش قطری ($\delta_Q$) ثابت بماند باید ضخامت محوررا (e) را زیادنمود یعنی مقدار (δ) کوچکتری انتخاب نمود ـ مقدار قابل قبول افزایش قطری برای محورهای پیستون به قطرهای بین ۱۰۰ تا ۱۶۰ میلیمتر ۰٫۰۲۵ = $\delta_Q$ است و ازرابطه (۷) مقدار افزایش برای قطر ۱۰۰ میلیمتر ۰٫۰۳۲ = $\delta_Q$ میرسد.

درمحاسبات محوربطورکلی میزان افزایش قطری محور ۰٫۰۲۵ ≤ $\delta_Q$ اختیار شده است وازروی جدول شماره (I) برای موتور دیزل که مقدار ۰٫٤ = △ و ۰٫۵۵ = δ اختیارشود نتیجه میگردد مقدار فلش ماکزیمم میلیمتر ۰٫۰۱۵ = $f_{10}$ وافزایش قطری میلیمتر ۰٫۰۲۱ خواهد شد درصورتیکه قطر پیستون $D=100^{mm}$ و فشارگاز جو pz = ۱۰۰ است .

**۳ ـ فشار وارده برسطح تکیه‌گاه محور پیستون ـ** بعنوان نمونه همان پیستون بقطر ۱۰۰ میلیمتر وهمان فشار ماکزیمم گاز ۱۰۰ اتمسفر اختیار میگردد هرگاه مقدار قوه ($P_N$) عمود بریک تکیه گاه باشد مقدارش ازروی قوه (P) حساب شده قبلی بدست میآید ونصف قوه حاصله از فشارگاز میباشد وچون مقدار(F) سطح قطری تکیه گاه باشد فشار وارده از طرف قوه تکیه گاه را ازین رابطه حساب مینمایند :

$$p_N=\frac{P}{3F} \qquad (1)$$

ازطرف دیگر سطح قطری

$$F=da\times\frac{b}{2} \quad و \quad b=\frac{L}{2}=\frac{D}{2}\lambda \quad و \quad \lambda=\sqrt{1-\Delta^2}$$

بادرنظرگرفتن مقادیر فوق رابطه (۱) بشکل زیر درمیآید :

$$p_N=1{,}58\frac{pz}{\Delta\sqrt{1-\Delta^2}} \qquad \text{کیلوگرام برسانتیمتر مربع} \qquad (2)$$

فشارسطحی تکیه گاه از رابطه (۲) میرساند که این فشار سطحی فقط تابع فشارگاز (pz) داخل سیلندر میباشد وضریب $\Delta\sqrt{1-\Delta^2}$ یک ضریب ترسیمی میباشد که با اختیارمقادیرمختلفه (△) فشارسطحی تغییر میکند.

**٤ ـ وزن محور پیستون بقطر $D=10cm$ را مدل اختیار میکنیم**

هرگاه وزن محور را ($G_B$) برحسب گرم‌وزن درنظربگیریم با دردست داشتن اقطار داخلی وخارجی هرمحور وزن محور که از فولاد میباشد وزنش از رابطه زیر مشخص میشود :

گرم وزن $GB=\gamma L\frac{\pi}{4}(da^2-di^2)$ $\gamma=7{,}8\frac{gr}{cm^3}$ (۹)

چون باز مقادیر $L=\lambda D$ و $\lambda=\sqrt{1-\Delta^2}$ و $(\Delta)$ و $(\delta)$ درنظر بگیریم رابطه (۹) بشکل رابطه (۱۰) درمیآید :

$$G_B=6{,}1\times\Delta^2\times D^3(1-\delta^2)\sqrt{1-\Delta^2} \qquad (10)$$

## ۵ ـ محاسبه خستگی درمحور پیستون

خستگی‌های در دوجهت دراثر خمیدگی درمحور پیستون ایجاد میگردد که یکی خستگی ایجاد شده درخمش طولی و دیگری خستگی حاصله از خمش عرضی محور میباشد.

اولاً خستگی حاصله از خمیده شدن محور درطول درمقطع عرضی مطابق شکل (۱) این خستگی عبارتست از :

$$\sigma_{BL}=\gamma\frac{P\cdot a}{4w_B}=\frac{Mf}{w_B} \qquad (11)$$

درین رابطه Mf ممان‌خمشی ماکزیمم وارده وضریب $\gamma=1-\frac{b}{2a}$ این مقدار معرف طرز تقسیم بار درطول دستک ومحور میباشد بادرنظرگرفتن مقادیر ذکرشده $(\Delta)$ و $(\delta)$ و $(L)$ ومقدار $a=\frac{3}{4}\lambda D$ ومقدار $b=\lambda\frac{D}{2}$ وچون‌مقدار $\Delta=0{,}4$ مقدار $\lambda=0{,}53$ میشودودرینحال‌رابطه(۱۱)بشکل‌رابطه(۱۲)درمیآید

$$\sigma_{BL}=0{,}93\times\frac{pz}{\Delta^3(1-\delta^2)} \qquad (12)$$

این‌خستگی درمقطع عرضی متناسب بافشار (pz) میباشد هرقدرمقدار $(\Delta)$ بزرگتر باشد با قوه سوم $(\Delta)$ این خستگی کوچکترخواهد گردیدوبرای‌مقادیری از $(\delta)$ بین ۰٫۴۵ و۰٫۷۰ خستگی مذکورفقط ۰٫۲٪ تغییرمینماید

ثانیاً ـ خستگی حاصله دراثر خمش عرضی درمقطع طولی مطابق شکل (۱) از رابطه (شلفکه):

$$\sigma_{BQ}=0{,}125\times\frac{P\cdot r}{\frac{L(da-di)}{24}} \qquad (13)$$

مقدار (r) شعاع متوسط محورپیستون میباشد که عبارتست از:

$$r=\frac{da+di}{2}$$

در رابطه (۱۳) قراردهند این رابطه بدست خواهد آمد :

$$\sigma_{BQ}=0{,}685\times\frac{pz}{\Delta}\times\frac{1+\delta}{(1-\delta)^2} \qquad (14)$$

این خستگی طولی تابع فشار (pz) میباشد و مقدارش با کم گشتن (△) افزایش مییابد و برحسب تغییر (δ) بین مقادیر ۰٫۴۵ و ۰٫۷ میتوان به‌سهولت میزان٪ تغییرخستگی راحساب کرد.

خستگی نتیجه ـ چون دوخستگی طولی وعرضی عمود برهم میباشند بسهولت از ترکیب هندسی مقدار خستگی نتیجه را بدست میآورند :

$$\sigma_{BQ}=\sqrt{\sigma_{BL}^{2}+\sigma_{BQ}^{2}}$$

با بکار بردن روابط (۱۲) و (۱۴) خستگی نتیجه خواهد شد .

$$\sigma_{BG}=0{,}93\frac{pz}{\triangle^{3}(1-\delta^{4})}\sqrt{1+[0{,}74\triangle^{2}\frac{(1+\delta)(1-\delta^{4})}{(1-\delta^{2})}]^{2}} \qquad (15)$$

$$\sigma_{BG}=\sigma_{BL}\sqrt{1+[0{,}74\triangle^{2}\frac{(1+\delta)\,(1-\delta^{4})}{(1-\delta^{2})}]^{2}} \qquad (16)$$

خستگی نتیجه مانند خستگی درمقطع عرضی($\sigma_{BL}$) تغییر مینماید و دیگر تغییراتش فقط بستگی بمقدار(△) داشته‌ـعملا برای تعین ضخامت محور مقدار ۰٫۴۵ = δ اختیار میکنند ودر موتورهای سریع میتوان مقدار (δ) را به ۰٫۸ رسانید واضح است درین‌حال خستگی خیلی‌بیشتر ازموقعی است که ضخامت محور بزرگتر میباشد .

**نتیجه درمورد محور پیستون و تکیه‌گاه آن ـ** درروابطی که تاکنون بحث شد درجدول شماره (I) قطرپیستون را $D=100^{mm}$ میلیمتر درنظر گرفته وباآن‌خواص‌فنری محور وتکیه گاه موردنظربوده است وشکل واندازه محور و تکیه گاه مشخص میگردید حال بطورکلی برای اقطارمختلف پیستون بحث میشود در رابطه فلش‌ماکزیمم مشاهده گردید که‌مقدارآن‌متناسب‌بافشار گازدرداخل‌سیلندرمیباشد وتغییرات فشاردرموتورهای دیزل خیلی زیاد درمحاسبه موتورهای مختلف مؤثراست سپس معین شدکه مقدار فلش با قطر پیستون تغییر میکند وبرای هرقطر دیگر مقدار فلش ماکزیمم را از روی این رابطه حساب مینمایند .

$$fz=fz_{10}\times\frac{D}{D_{10}} \qquad (1)$$

وانبساط عرضی‌تکیه گاه‌هم متناسب بااقطارکم یا زیاد میگردد برای اقطارمختلف موتوردیزل یاموتور بنزینی مقدار ($fz_{10}$) را از روی جدول شماره (II) اختیار میکنند .

**جدول شماره II**

| D | ۶۰ | ۱۰۰ | ۱۴۰ | ۱۸۰ | ۲۲۰ | ۲۶۰ | ۳۰۰ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|

میلیمتر برای موتورهای دیزل مقادیر زیر اختیار میشود

| fz | ۰٫۰۰۹ | ۰٫۰۱۵ | ۰٫۰۲۱ | ۰٫۰۲۷ | ۰٫۰۳۳ | ۰٫۰۳۹ | ۰٫۰۴۵ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|

میلیمتر برای موتورهای بنزینی مقادیر زیر اختیار میشود

| fz | ۰٫۰۲۴ | ۰٫۰۴ | ۰٫۰۵۶ | ۰٫۰۷۲ |
|---|---|---|---|---|

دررابطه(۷)افزایش قطردرجهت‌عمود برمحورمیرساند که‌افزایش‌متناسب باقطرپیستون‌میباشد وهمین‌اثربرای تکیه‌گاه قابل قبول میباشد ولی قسمتی ازتکیه‌گاه درمجاورت محور قراردارد اگردارای ضخامت زیاد است و نخواهدتوانست تغییرات قطرمحور راپیروی کند پس‌تغییرات افزایش‌قطری فشارهای اضافی‌درتکیه‌گاه ایجاد مینماید باافزایش قطرپیستون این فشارهای اضافی‌بطورقابل ملاحظه‌ای افزایش یافته دراینصورت‌درمحاسبه موتورها با اقطاربزرگ نبایدآنرااز نظر دور داشت .

**قسمت دوم ـ محاسبات محور پیستون و تکیه‌گاه بادرنظرگرفتن انتقال حرارت بوسیله آنها**

چون جنس‌پیستون ازچدن یاآلومینیوم که تکیه‌گاه محور را تشکیل میدهد باجنس محور از فولاد باهم‌متفاوت میباشند برای یک اختلاف درجه حرارت ثابت محوروتکیه‌گاهش دارای انبساط خطی درنتیجه انبساط‌حجمی‌متفاوت خواهندبوداین‌موضوع بحث‌دوم‌میباشد که درنتیجه تفاوت‌انبساط قطرمحورباتکیه‌گاهش فاصله درضمن‌کار بین محور وتکیه‌گاه ایجاد میگردد این فاصله را بازی (Vs) محور وتکیه‌گاه میخوانند و هرقدراین تفاوت بیشترگردد اختلال درکار صحیح موتور فراهم میگردد هرگاه قطر خارجی‌محور (da)باشد مقدار تفاوت قطری محورباتکیه‌گاه از روی این رابطه مشخص میگردد .

$$V_S = da(T_B - T_A)(\alpha_L - \alpha_S) \qquad (۱)$$

$T_B$ = درجه حرارت متوسط محور وتکیه‌گاه درموقع کار $= ۱۰۰^{\circ}$

$T_A$ = درجه حرارت قطعات درموقع ساختن آنها $= ۲۰^{\circ}$

$\alpha_S$ = ضریب انبساط طولی فولاد محور $= ۱۰ \times ۱۰^{-۶} \frac{cm}{cmO^C}$

$\alpha_L$ = ضریب انبساط طولی آلیاژسبک جنس‌پیستون $= ۲۰ \times ۱۰^{-۶} \frac{cm}{cmO^C}$

با درنظرگرفتن مقادیر فوق برای محور فولادی و پیستون آلومینیومی رابطه (۱) چنین میگردد .

$$V_S = ۱٫۳ \times ۱۰^{-۳} \times \Delta \times D \; Cm \qquad (۲)$$

از رابطه(۲) معلوم میشود بازی محور وتکیه‌گاه آنقدر بزرگ خواهد بود که قطرپیستون بزرگتر باشد وخطر شکاف برداشتن مقطع عرضی تکیه‌گاه خواهد شد اگر موتور زود بحرارت موقع کارش نرسد یعنی موتور سرد براه انداخته شود ادامه پیدا کند وموتورتحت فشارماکزیمم خودکارنماید . درقسمت اول ذکرشد افزایش قطری محور ($\delta_Q$) که باقطر پیستون ترقی‌میکنددرینجا نیزاین‌افزایش قطری‌باحرارت تکیه‌گاه و محورتشدید میشود بنابرین این خـود فشار اضافی در تکیه‌گاه ایجاد خواهدکرد این افزایش اضافی از روی رابطه زیر محاسبه میگردد :

$$\delta_{QZ} = \delta_{QZ_{۱۰}} \times \frac{D_{۱۰} + ۰٫۵(D - D_{۱۰})}{D_{۱۰}} \qquad (۳)$$

مثال ـ برای موتورهای دیزل که دارای پیش اطاق که سیال باگرد بادی حرکت میکند .

قطر پیستون میلیمتر $D = ۱۲۰$ وفشار ماکزیمم سیال جو $pz = ۹۰$

میزان فلش این موتور که درمحور ایجاد میشود از روی جدول (II) خواهد بود .

$$fz_{۰} \leqslant ۰ر۰۱۸ \text{ میلیمتر}$$

واز رابطه زیرمیتوان مقدار افزایش قطرمحور رابا دردست داشتن مقدارش برای قطر ۱۰۰ میلیمتر حساب نمود

$$\delta_{Q۲} = \delta_{QZ_{۱۰}} \times \frac{۱۰ + ۰ر۵(D=۱۰)}{۱۰} \text{ میلیمتر}$$

از روی رابطه فوق جدول شماره (III) را میتوان ترتیب داد .

**جدول شماره (III)**

| D میلیمتر | ۶۰ | ۱۰۰ | ۱۴۰ | ۱۸۰ | ۲۲۰ | ۲۶۰ | ۳۰۰ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $\delta_{QZ}$ میلیمتر | ۰ر۰۲ | ۰ر۰۲۵ | ۰ر۰۳ | ۰ر۰۳۵ | ۰ر۰۴ | ۰ر۰۴۵ | ۰ر۰۵ |

۱ - برای تعیین فلش ماکزیمم ازجدول شماره یک استفاده میشود .

$$f_{۱۲} = f_{۱۰} \times \frac{pz \cdot D}{pz_{۱۰} \times D_{۱۰}} = f_{۱۰} \times \frac{۹۰ \times ۱۲۰}{۱۰۰ \times ۱۰۰} \leqslant fz \qquad (۱)$$

$$f_{۱۰} = \frac{۰ر۰۱۸}{۱ر۰۸} \leqslant ۰ر۰۱۶۷ \text{ میلیمتر} \qquad f_{۱۲} < ۰ر۰۱۸ \text{ میلیمتر}$$

۲ - برای تعیین افزایش قطری .

$$\delta_Q = \delta_{Q_{۱۰}} \times \frac{pz \cdot D}{pz_{۱۰} \cdot D_{۱۰}} = \frac{۹۰ \times ۱۲۰}{۱۰۰ \times ۱۰۰} \delta_{Q_{۱۰}} \leqslant \delta_{QZ} = ۰ر۰۲۷ \text{ میلیمتر} \qquad (۲)$$

$$\delta_{Q_{۱۰}} \leqslant ۰ر۰۲۵ \text{ میلیمتر}$$

۳ - تعیین ابعاد محور پیستون

$$\triangle = \frac{da}{D} = \frac{da}{۱۲۰} = ۰ر۳۹ \qquad da = ۴۷ \text{ میلیمتر}$$

$$\delta = \frac{di}{da} = \frac{di}{۴۷} = ۰ر۵۵ \qquad di = ۲۶ \text{ میلیمتر}$$

۴ - تعیین فشار روی تکیه گاه ازجدول I

$$P_{N_{۱۲}} = P_{N_{۱۰}} \cdot \frac{pz}{p_{۱۰}} = ۴۴۲ \times \frac{۹۰}{۱۰۰} = ۴۰۰ \frac{kg}{cm} \qquad P_{N_{۱۰}} = ۴۴۲ \frac{\text{کیلوگرم}}{\text{سانتیمترمربع}}$$

**محاسبه خستگی نتیجه درمحور** (با استفاده از جدول شماره I ) .

$$\sigma_{BG_{۱۲}} = \sigma_{BG_{۱۰}} \times \frac{pz}{p_{۱۰}} = ۲۲ \times ۰ر۹ = ۲۰ \frac{kg}{mm^۲}$$

این خستگی برای فولاد محور پیستون قابل قبول میباشد .

مثال ۲ - برای موتور بنزینی که قطر پیستون میلیمتر $D = ۸۰$ وفشارجو $pz = ۵۰$

ازجدول II میلیمتر ۰٫۰۳۲≤fz

از جدول III میلیمتر ۰٫۰۲۲۵≤δQZ و میلیمتر ۰٫۰۵۶ = $\frac{۰٫۰۲۲۵}{۰٫٤}$ = δQ۱۰

ازجدول‌بدست I میاوریم :

δ = ۰٫٦۵ و △ = ۰٫۲۸

پس داریم میلیمتر ۸۰ = D و میلیمتر ۲۲ = da و میلیمتر ۱٤ = di

مثال ۳- برای موتور دیزل باتزریق‌مستقیم با فشار جو ۱٤۰ = pz وقطرپیستون میلیمتر ۲۲۰ = D

ازجدول II میلیمتر ۰٫۰۳۳≤ fz

ازجدول III میلیمتر ۰٫۰٤≤δQZ و ۰٫۰۱۳≤ $\frac{۰٫۰۳۳}{۳٫۱}$ = δQ۱۰

از جدول I △ = ٤٫۳ و δ = ۰٫٤۷

پس داریم میلیمتر ۲۲۰ = D و میلیمتر ۹۵ = da و میلیمتر ٤٤ = di

محاسبه فشار روی تکیه گاه

$$P_N = ٤۰٦ \times \frac{۱٤۰}{۱۰۰} = ۵۸۰ \frac{kg}{cm^۲}$$

تعین مقدار خستگی نتیجه محور :

$\sigma_{BG۲۲} = ۱٦ \times \frac{۱٤۰}{۱۰۰} = ۱٦ \times ۱٫٤ = ۲۲ \frac{kg}{mm^۲}$ که قابل قبول میباشد.