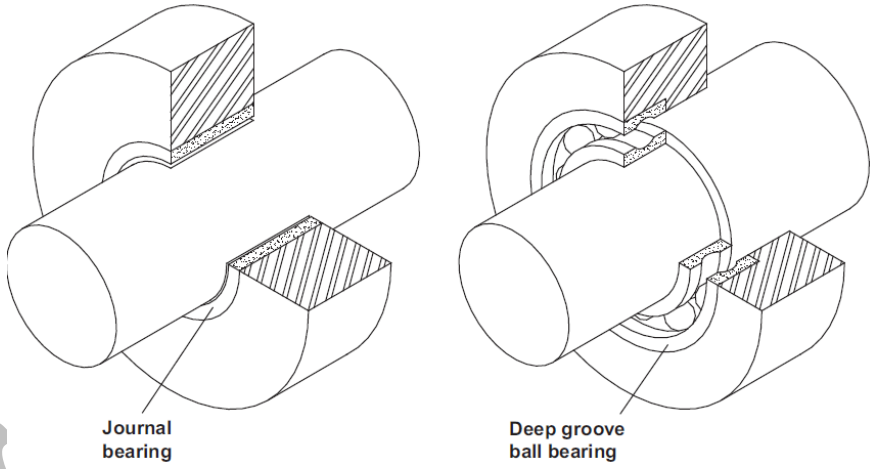
الفصل الثاني عشر Chapter Twelve
المساند الانزلاقية Sliding Bearing

المساند او الركائز: ان الغرض من المساند هو اسناد الحمل المسلط على عناصر الماكنة او الالة، وفي نفس الوقت السماح بالحركة النسبية بين اي عنصرين في ماكنة أو آلة. الهدف من دراسة هذا الفصل هو التعرف على انواع المساند والخصائص اللازمة لتحديد نوع المسند الذي يجب استخدامه ثم بعد ذلك الدخول الى تصميم المساند الهيدروديناميكية hydrodynamic وكذلك كيفية اختيار المساند الدحروجية rolling

١ – المدخل

تشير كلمة مسند الى وجود تلامس بين سطحين بينهما حركة نسبية وقوة منتقلة، هناك مدى واسع من المساند مستخدمة في الواقع العملي، الا انه بشكل عام يمكن تصنيفها الى فئتين رئيسية، الاولى هي المساند الانزلاقية والتي تكون فيها الحركة او الانزلاق بين أي سطحين اما بالتلامس المباشر او من خلال طبقة رقيقة من الزيت، اما الفئة الثانية فهي المساند الدحروجية rolling bearing وهي المساند التي تحتوي على عناصر متدحرجة تفصل بين السطحين المتلامسين، حيث تكون الحركة خليط من الدحرجة والانزلاق. يبين الشكل (١) كلا النوعين بينما يعطينا المخطط في الشكل (٢) تصنيفا عاما للمحامل. يبين الجدول(١) الاداء لأنواع مختلفة من المساند مع بعض معايير الاختيار، اما الشكل(٣) فيلخص حدود السرعة والحمل للمساند الانزلاقية والدحروجية.



الشكل (١) المساند الانزلاقية والمساند الدحروجية

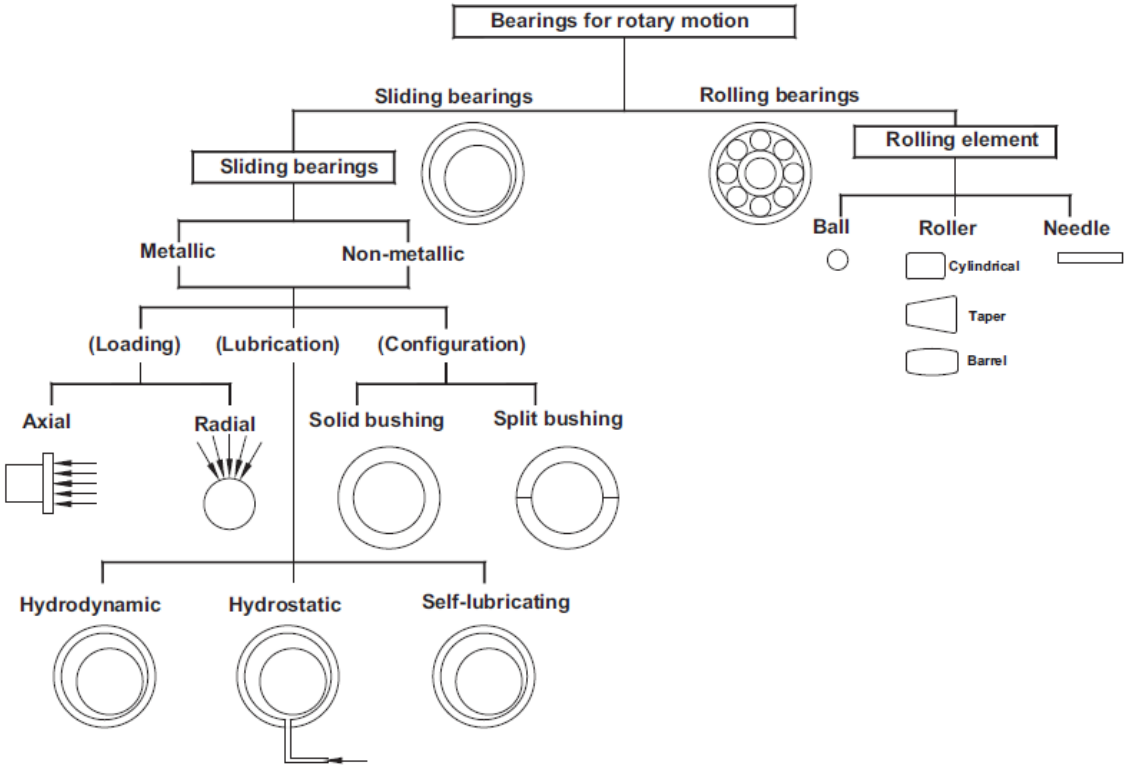
٢ – المساند الانزلاقية

تشير كلمة (الانزلاقية sliding) الى وجود سطحين ينزلق احدهما على الاخر مع عدم وجود جسم متدحرج فاصل بينهما، يمكن تسهيل هذه الحركة من خلال وجود مزيت lubricant محصور بين هذين السطحين. يتولد بسبب حركة هذه الاجزاء على بعضها عند السرع العالية مع وجود المزيت، ضغطا كافيا لفصل الجزأين عن بعضهما وبالتالي تقليل الاحتكاك والبلى wear

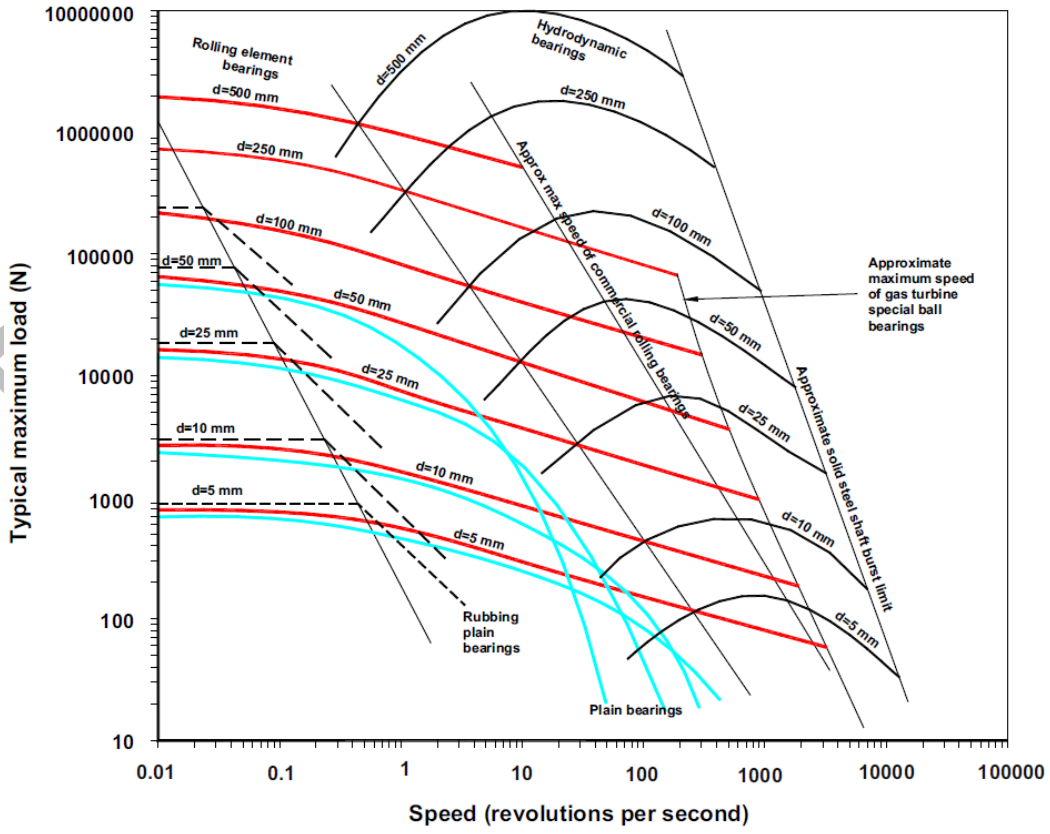
من الامثلة الشائعة على الركائز الانزلاقية هو دوران العمود shaft حول محوره داخل مسند اسطواني يحيط بالعمود ويسمح له بالدوران وكذلك يقوم بإسناد وزن العمود والقوى الأخرى المؤثرة عليه كقوة الشد في الاحزمة او القوى على التروس وغير ذلك. يسمى جزء العمود الذي يقع ضمن منطقة الاسناد بالمرتكز journal والجزء

Dr. Khaleel

الثابت الذي يسند الحمل يسمى بالمسند bearing، انظر الشكل (٤). هناك محامل انزلاقية مستوية او مسطحة plain لكننا سنركز في هذا الفصل على المساند ذات الشكل الدائري



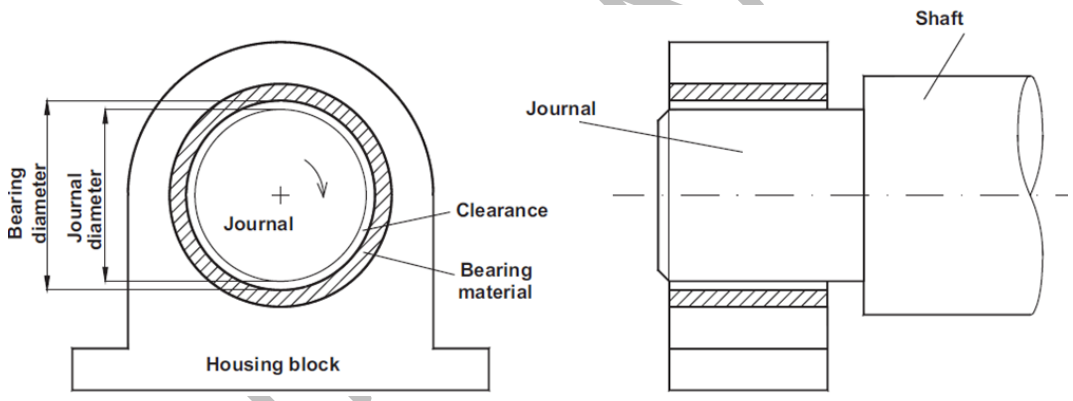
الشكل (٢) تصنيف المساند.



الشكل(٣)

الجدول (١): الاداء لأنواع مختلفة من المساند مع بعض معايير الاختيار

Bearing type	Accurate radial location	Combined axial and radial load capability	Low starting torque capability	Silent running	Standard parts available	Lubrication simplicity
Rubbing plain bearings (nonmetallic)	Poor	Some in most cases	Poor	Fair	Some	Excellent
Porous metal plain bearings oil impregnated	Good	Some	Good	Excellent	Yes	Excellent
Fluid film hydrodynamic bearings	Fair	No; separate thrust bearing needed	Good	Excellent	Some	Usually requires a recirculation system
Hydrostatic bearings	Excellent	No; separate thrust bearing needed	Excellent	Excellent	No	Poor special system needed
Rolling bearings	Good	Yes in most cases	Very good	Usually satisfactory	Yes	Good when grease lubricated



الشكل (٤)

هناك ثلاث مناطق للتزييت في المساند الانزلاقية:

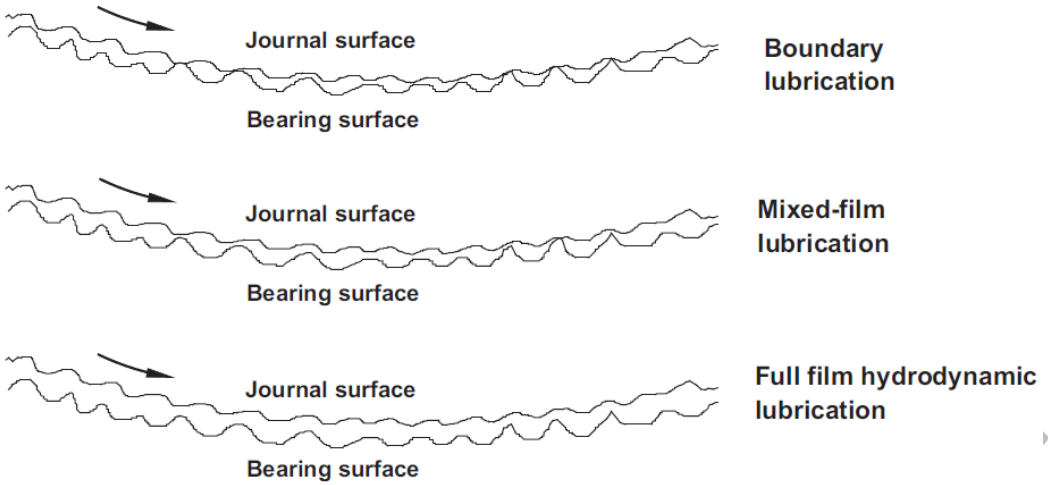
أ- التزييت الحدودي boundary

ب-التزييت المختلط mixed.

ت- التزييت الكامل full-film

يحدث التزييت الحدودي في السرع الواطئة نسبيا بين العمود والمسند ويمتاز بوجود تلامس بينهما. ان الاجسام او السطوح المتلامسة مهما اعتني بصقلها للحصول على خشونة منخفضة الا انها تبقى فيها نتوءات غير مرئية كما في الشكل (٥)، وبالرغم من وجود المزيت والضغط بين الاسطح المتلامسة الا ان الضغط يكون واطئا فلا يسمح بالفصل بين الجسمين فيحدث تلامس بين قمم النتوءات. اما التزييت المختلط فيحدث عند السرع العالية نسبيا بحيث تكون السرعة كافية لإحداث ضغط بين السطحين المتلامسين وفصلهما لكن جزئيا،

أي يتلامس السطحان احيانا، اما في منطقة التزييت الكامل full film الذي يحدث عند السرعات العالية فانه يتولد ضغط كاف للفصل بين السطحين تماما، بحيث يكون العمود عائما على طبقه من الزيت.



الشكل (٥) مناطق التزييت الثلاث

هذه الانواع الثلاثة من التزييت او المراحل الثلاثة كلها يمكن حصولها في حالة عدم ضغط الزيت الى المنظومة بضغط خارجي، اما في حالة وجود ضغط خارجي مجهز من منظومة ضغط خاصة، حينها تسمى بالمساند الهيدروستاتيكية hydrostatic.

ان اداء المساند الانزلاقية يختلف بشكل كبير تبعا لنوع التزييت وهذا موضح في الشكل (٦)، الذي يبين مدى تغير معامل الاحتكاك مع مجموعة من العوامل التي يمكن تعريفها بالمعادلة الاتية:

$$\frac{\mu N}{P} \dots\dots\dots\dots (1)$$

μ: لزوجة الزيت (Pa.s).

N: سرعة العمود الدورانية (rpm).

P: سعة التحميل (P=W/LD) (N/m^2)

W: القوة المسلطة على المسند (N)

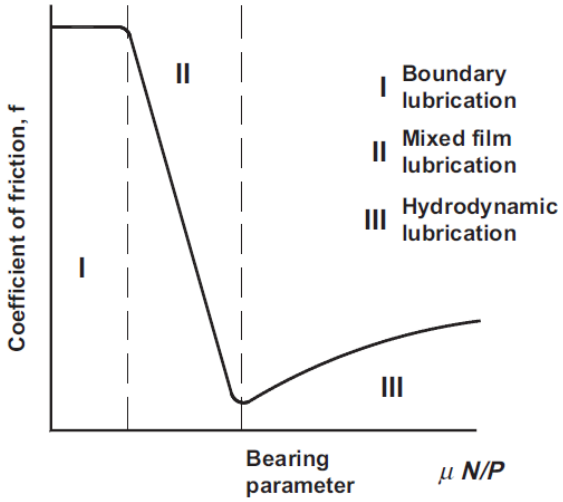
D: طول المسند (m)

L: قطر المسند (m)

المعامل $\frac{\mu N}{P}$ يجمع لنا مجموعة من المتغيرات في رقم واحد، والمرغوب فيه ان معامل الاحتكاك واطئا.

بشكل عام يستخدم التزييت الحدودي للتطبيقات ذات السرع الواطئة عندما تكون السرعة بين الاسطح المتلامسة قريبة من 1.5 m/s ، اما منطقه التزييت المختلط فنادرا ما تستخدم وذلك لصعوبة تعيين قيمة معامل الاحتكاك الحقيقية كما هو مشاهد في الشكل (٦). سنتعرف على طريقة تصميم المساند للتزييت الحدودي في الفقرة (٢-٢) اما التزييت الهيدروديناميكي ففي الفقرة (٢-٣)

Dr. Hazim Khaleel

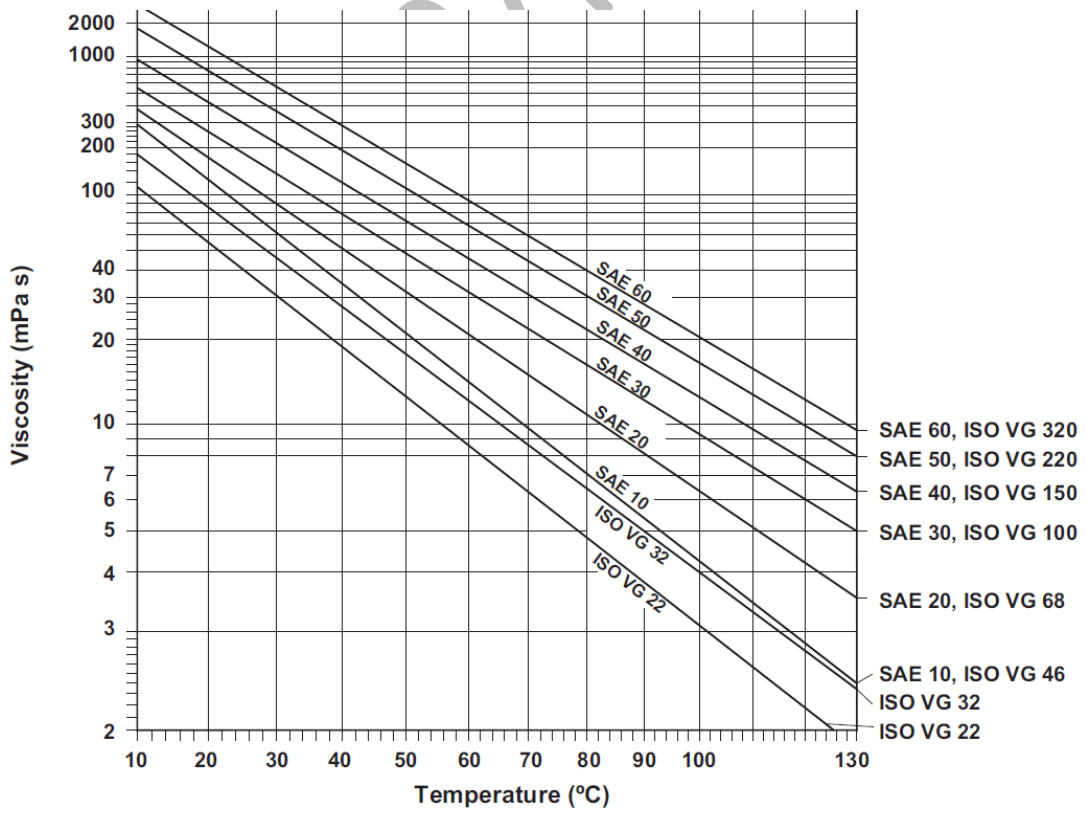


الشكل (٦)

٢-١- المزيتات lubricants

يعتبر التزييت مهما في المساند لتقليل الاحتكاك وتبديد الحرارة ، مما يمكن ملاحظته في الشكل (٦) هو أن اداء المسند يعتمد على منطقة التزييت، وكذلك على لزوجة المزيت، إذ تعرف اللزوجة على انها مقاومه المائع للقص، كما ان المزيتات يمكن ان تكون صلبة او سائلة او غازية لكن الشائع منها هو الزيوت oils والشحوم greases.

اهم انواع المزيتات السائلة هي المزيتات اللاعضوية mineral والصناعية synthetic، وتعتمد لزوجتها بشكل كبير على درجة الحرارة. إذ تتصلب عند درجة حرارة $-35^{o}C$ ، وتتحول الى بارافين عند $100^{o}C$ وتحترق عنده $250^{o}C$. الشكل (٧) يبين تغير لزوجة الزيت مع درجة الحرارة



الشكل(٧)

الجدول(٢)

Material	Maximum load capacity P (MN/m^2)	Limiting PV value ($MN/m\ s$)	Maximum operating temperature (°C)	Coefficient of friction	Coefficient of expansion ($\times 10^{-6}$/°C)	Comments	Typical application
Carbon/graphite	1.4–2	0.11	350–500	0.1–0.25 dry	2.5–5.0	For continuous dry operation	Food and textile machinery
Carbon/graphite with metal	3.4	0.145	130–350	0.1–0.35 dry	4.2–5		
Graphite impregnated metal	70	0.28–0.35	350–600	0.1–0.15 dry	12–13		
Graphite/ thermosetting resin	2	0.35	250	0.13–0.5 dry	3.5–5	Suitable for sea water operation	
Reinforced thermosetting plastics	35	0.35	200	0.1–0.4 dry	25–80		Roll-neck bearings
Thermoplastic material without filler	10	0.035	100	0.1–0.45 dry	100		Bushes and thrust washers
Thermoplastic with filler or metal backed	10–14	0.035–0.11	100	0.15–0.4 dry	80–100		Bushes and thrust washers
Thermoplastic material with filler bonded to metal back	140	0.35	105	0.2–0.35 dry	27	With initial lubrication only	For conditions of intermittent operation or boundary lubrication e.g. ball joints, suspension, steering
Filled PTFE	7	Up to 0.35	250	0.05–0.35 dry	60–80	Glass, mica, bronze, graphite	For dry operations where low friction and wear required
PTFE with filler, bonded to steel backing	140	Up to 1.75	280	0.05–0.3 dry	20	Sintered bronze bonded to steel backing impregnated with PTFE/lead	Aircraft controls, linkages, gearbox, clutch, conveyors, bridges
Woven PTFE reinforced and bonded to metal backing	420	Up to 1.6	250	0.03–0.3	–	Reinforcement may be interwoven glass fiber or rayon	Aircraft and engine controls, linkages, engine mountings, bridge bearings

٣- تصميم المساند الحدودية boundary sliding bearing

تستخدم هذه المساند للسرع الواطئة ويكون هناك تلامس مباشر بين العمود والمسند، كالجلبات bushes والوصلات linkages وذلك، لبساطتها وطبيعتها المدمجة compact كذلك تستخدم في الادوات المنزلية كالمقصات ومفاصل الابواب وغير ذلك.

الاعتبارات التصميمية:

من اهم الامور التي يجب مراعاتها عند تصميم المساند الحدودية هي معامل الاحتكاك وسعة الحمل والسرعة النسبية ودرجة الحرارة ومحددات البلى wear وامكانية التصنيع. هناك عامل مهم في تصميم المساند ذات التزييت الحدودي وهو المعامل PV والذي يمثل حاصل ضرب الحمل في السرعة المحيطية ويمثل قابلية مادة المسند على التغلب على طاقه الاحتكاك المتولدة داخل المسند

الخطوات التالية تلخص تصميم المساند ذات التزييت الحدودي

١- حدد سرعة الدوران للمسند وكذلك القوة التي تسلط على المسند.

٢- جد أبعاد المسند، واهمها نسبة الطول L الى القطر D والتي تتراوح بين 0.5 و 1.5، واذا كان القطر معلوما فيمكن اعتبار L=D.

٣- حساب سعة الحمل P=W/LD

Dr. Hazim

٤- حساب السرعة المماسية القصوى $V = \pi ND/60$، حيث أن N = السرعة الدورانية للعمود (rpm)، و D = قطر العمود في منطقة المسند (m)

٥- حساب المعامل PV.

٦- اضرب المعامل PV في معامل امان مناسب وليكن مقداره 2

٧- ارجع الى الجدول(٢) لاختيار مسند من مادة مناسبة بحيث تكون قيمه PV اكبر من القيمة المحسوبة في الخطوة ٦.

Example 5.1

A bearing is to be designed to carry a radial load of 700 N for a shaft of diameter 25 mm running at a speed of 75 rpm (see Figure 5.8). Calculate the PV value, and by comparison with the available materials listed in Table 5.2 determine a suitable bearing material.

Solution

The primary data are $W = 700$ N, $D = 25$ mm, and $N = 75$ rpm.

Use $L/D = 1$ as an initial suggestion for the length to diameter ratio for the bearing. $L = 25$ mm.

Calculating the load capacity, P

$$P = \frac{W}{LD} = \frac{700}{0.025 \times 0.025} = 1.12 \text{ MN/m}^2$$

$$V = \omega r = \left(\frac{2\pi}{60}\right) N \frac{D}{2} = 0.1047 \times 75 \frac{0.025}{2} = 0.09816 \text{ m/s}$$

$$\text{PV} = 0.11 (\text{MN/m}^2)(\text{m/s})$$

Multiplying this by a factor of 2 gives PV = 0.22 (MN/m s)

A material with a PV value greater than this, such as filled PTFE (limiting PV value up to 0.35), or PTFE with filler bonded to a steel backing (limiting PV value up to 1.75), would give an acceptable performance.

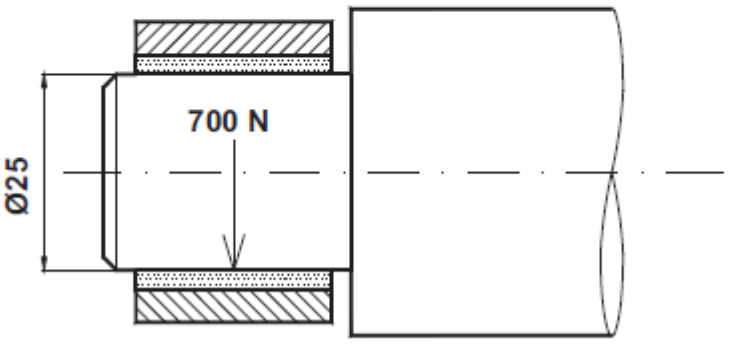


Figure 5.8
Boundary-lubricated bearing design example (dimensions in mm).

Example 5.2

The paper feed for a photocopier is controlled by two rollers that are sprung together with a force of approximately 20 N. The rollers each consist of a 20-mm-outer-diameter plastic cylinder pressed onto a 10-mm-diameter steel shaft (see Figure 5.9). The maximum feed rate for the copier is 30 pages per minute. Select bearings to support the rollers. After IMechE (1994).

Solution

The light load and low speed, together with the requirement that the bearings should be cheap, clean, and maintenance-free, suggest that dry rubbing bearings be considered.

The length of A4 paper is 297 mm.

The velocity of the roller surface is given by

$$V_{\text{roller}} = \frac{30 \times 0.297}{60} = 0.1485 \text{ m/s}.$$

The angular velocity of the rollers is 0.1485/0.01 = 14.85 rad/s.

The velocity of the bearing surface is therefore

$$V = 14.85 \times 0.005 = 0.07425 \text{ m/s}.$$

An L/D ratio of 0.5 could be suitable giving a bearing length of 5 mm. The load capacity is

$$P = \frac{W}{LD} = \frac{20}{0.005 \times 0.01} = 0.4 \text{ MPa}.$$

$$\text{PV} = 0.4 \times 0.07425 = 0.0297 (\text{MN/m}^2)(\text{m/s}).$$

For this low value of PV, the cheapest bearing materials, namely thermoplastics, are adequate.

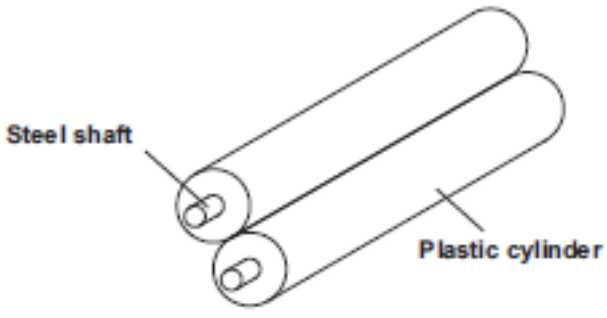


Figure 5.9