

TMKT14: Maskinelement

Skriven av Jimmy Wallentin

Skruvar och skruvförband

Användningsområden för skruvar:

- Fästelement (används för att förbinda olika saker)
- Rörelseelement

Arkimedesskruvar: Stora rörelseskruvar som används till att transportera material

Fläns = Diameterökning

M-gängor

Vanligaste spetsgängen (skruv med spetsiga gängor) för fästelementskruvar

Standardiserade för 1-68 mm (d) M-gängor, 1-300 mm för M-fingängor

Tillverkning av skruvar och muttrar

Skruvar, hål och muttrar: tillverkas genom skärande (spånbildande) eller icke-skärande bearbetning

Gängtapp: verktyg för att gänga upp ett borrarat hål

Gängpressade skruvar: kräver inget gängat hål utan skapar själv gängorna genom sin trelobiga form. Sitter hårt fast mot hålet.

Skruv: kropp med hangänga

Mutter: kropp med hongänga

Bult: fästelement i form av en gängad pinne

Hjulskruvar

Koniska skruvar: används vid t.ex. bilar (i hjulen). Den koniska formen gör att den kan motstå större moment då friktionen blir större än för en vanlig skruv.

Fördelar med smörjning:

- Lägre friktionstal
- Mindre spridning av friktionstalet (dvs. mindre spridning av skruvkraften för givet nyckelmoment)

Självhämmande skruvar: friktionskoefficienten > 0.05 för att en skruv ska vara självhämmande (gänger ur sig själv)

Skruvars hållfasthet: finns i klasserna 3.6, 4.6, 4.8, .., 12.9. Vanligast = 8.8

Märkning av skruvar och muttrar: alla skruvar och muttrar med $d > 5$ mm måste märkas. För muttrar anges hållfastheten med EN siffra, för skruvar med två. **Regel: mutter starkare än skruv.**

Rostfria och syrafasta skruvar

Bra rostskydd: hög krom- och nickelhalt

- **Rostfria A2-stålet:** hyggligt korrosionsskydd men duger ej i halvmiljöer (material i t.ex. grytor och kastruller)
- **Syrefasta A4-stålet:** passar för havsmiljö, dock ej klor.

Rostfria och syrefasta skruvar delas in i 3 hållfasthetsklasser: 50, 70, 80. **Brottngränsen = 10x Hållf.kl.**

Lastfördelningen i gängan

Vid 6 gånger tar den första gängan 50% av lasten medan sista knappt tar något alls => inte värt med fler gånger än sex.

Skruvbrott: sker oftast vid första gängan, sen vid diameterändringen precis under skruvskallen.

Gänginsatser

Helicoli: fjäder med ett speciellt tvärsnitt som används för att jämna ut lasterna i gängan. Sitter monterad längst ned i gänghållet.

Självgängande insats: gängar sin egen gänga när man kör ner den i ett förborrat hål.

Sättning

Vid åtdragning av en skruv fås klämkrafter vid alla kontaktställen => ojämnheter jämnas ut. När ojämnheter sätter sig (dvs. minskar) minskar skruvkraften, och därför behöver man dra efterdra skruvar. Även viktigt vid åtdragning av flera skruvar; görs i etapper. 30%, 60% och sist 100% i ett stjärnformat mönster för att undvika ojämn belastning på skruv och fästmaterialet.

Mothåll: kan användas vid montering av skruvar som kräver höga moment (då kraften man skruvar med = motkraften hos skruven)

Momentmontering

Viktigt att inte dra åt skruvar för hårt vid montering. Finns olika metoder för detta:

- **Momentmetoden:** manuella momentnycklar samt elektriska apparater som mäter momentet en skruv dragits åt med. Säger till när rätt moment uppnåtts. **Nackdel:** spänningskraften varierar 30-50% pga variation av moment för olika verktyg samt friktion.
- **Sträckmontering:** skruven tillåts plasticera vid monterng. Finns två metoder:
 1. **Moment och vinkelmetoden:**
Skruven dras åt till ett snug-moment som är minst lika stort om $M_{tröskel}$ (då nyckelmoment och åtdragningsvinkel är linjärt). Därefter vrids muttern en viss vinkel som är så stor att skruven börjar plasticera. **Nackdel:** skruven kan oftast inte användas igen. **Riskerar även att gå av.**
 2. **Momentgradientmetoden**
Även kallad *Sträckgränsstyrd montering*. Använder sig av en moment- och vinkelsensor. Känner av då Nyckelmomentet, M_n , och åtdragningsvinkeln, β , är linjärt (då gradienten är maximal), varpå man slutar när gradienten minskat till 50% av maxvärdet. **Fördel:** liten plasticering => skruvarna kan användas igen. **Nackdel:** dyra verktyg
- **Hydraulisk (sträck)montering:** skruven skruvas ner så att den ligger an mot plåten, varpå en hylsa med olja sätts över skruven. Trycket i oljan höjs sen så att skruven tappar fäste med plåten varpå den skruvas på igen. När hylsan tas bort klämmer skruven hårt mot plåten, utan att man åstadkommit några skjuvspänningar i skruven vid montering! **Nackdel:** fungerar ej på skruvar där $L/d < 1.5$ då det höga trycket kan dra sönder skruven.

Kontroll av skruvkraften

Istället för att använda ovannämnda metoder för att minska variationen i förspänningskraft man kan kontrollera att skruvkraften är den rätta. Finns olika metoder för detta:

- **Sensorbricka:** bricka som placeras mellan muttern och plåten, mäter normalkraften F_b mellan plåten och muttern (lika stor som skruvkraften F_s). Mäter det magnetiska fältet i brickan vars styrka varierar linjärt med spänningen i brickan.
- **Mikrometer:** mäter längden på skruven och räknar med den ut töjningen. Inte speciellt bra..
- **Töjningsgivare:** ett hål borras upp i skruven och fäster små elektriska motstånd, *töjningsgivare*, vilkas motstånd beror på töjningen hos det material de limmats på. Väldigt dyr metod.
- **Rotabolt:** ett hål borras upp i skruven i vilken en stång fästs. På stången gängas en ställmutter med ett visst avstånd från skruvskallen fast, med ett skydd, s.k. *rotacap*, över sig. När skruven monteras flyttas ställmuttern närmre skruvskallen, och man vet att skruvkraften är den rätta när man inte kan skruva på rotacapen för hand längre.
- **Smartbolt:** en stång i skruven som ändrar färg beroende på skruvkraft (röd, brun, svart).
- **Ultraljud:** den tid det tar för ultraljudet att passera genom skruven mäts => skruvens längd kan räknas ut med Hookes lag.
- **Lastindikerade brickor:** en upphöjning på en bricka som placeras mellan muttern och plåten. Skruvkraften är den rätta när man har ett visst avstånd däremellan, mäts med bladmått. För många använder man silikon som trycks ut vid åtdragning => skruva åt alla så att det syns lika mycket

Säkring av skruvförband vid dynamisk belastning

Skrubar som är utsatta för dynamisk belastning riskerar att vibrera loss (ej gängpressande skruvar).

Finns flera olika åtgärder för att motverka detta:

- **Dubbelmutter**
 - Två muttrar används vid montering istället för en.
- **Kronmutter med saxpinne**
 - Borrar hål genom skruven, skruva på en kronmutter med utslitsade hål och för in en saxpinne för att låsa skruven (**Nackdel: Saxpinnen får absolut inte återanvändas då den tappat majoriteten av sin låsande funktion. Alternativ: låssprint**)
- **Stukad mutter**
 - Tillbankade muttrar vars tvärsnitt inte är cirkulärt => krävs mer kraft för att skruva på dem => sitter bättre än en vanlig mutter
- **Vikbleck**
 - En plåtskiva som sitter under muttern så att den inte kan röra sig (t.ex. rak kant mot vägg)
- **Låstråd**
 - Borrar hål i två eller fler skruvar (vertikalt) och fäster ståltråd mellan dem så de inte kan lossna
- **Spirallock**
 - Muttrar eller gänginsatser med lastfördelning jämnare än helicoli => skruven förhindras från att vibrera loss (används i hushållsapparater, fordon etc.)
- **Helicoil screwlock**
 - Ett av fjädervarven på en helicoli är sexkantig => helicoil screwlock. Nys på bättre

- **Plastmassa**
 - Plastmassa i gängan gör att skruven och mutterns gängvallar greppar bättre vid åtdragning. Kan återanvändas (tätar även mot vätskor och gaser)
- **Nyloc-mutter**
 - Mutterar med inbyggd nylonring. Vid åtdragning skär skruvens gängor in i nylonringen => skruven sitter fast bättre
- **Lim**
 - Skruven limmas fast i gängan; tätar mot vätskor och gaser. **Nackdelar: Måste vänta tills limmet torkat tills det får full verkan. Förbandet måste hettas upp innan det kan tas bort.**
- **Schnorr-brickor**
 - En sågtandad bricka som fästs mellan plåt och skruvskalle. Den ökade friktionen gör att skruven sitter bättre
- **Nord-Lock-brickor**
 - Består av en undre och en övre bricka där "utsidan" har små tänder som biter fast mot underlaget. Mot "insidan" har brickorna lutande plan som hakar i varandra. Vid vibration tar muttern med sig den övre brickan, men då den sitter fast i den undre gör detta att skruven ej lossnar

Junkertest: test av klämkraft i ett skruvförband.

Bäst skruvsäkringsmetod: Nord-Lock! Dock dyra..

Fjädrar

Fjädrar används för att:

1. **Generera en viss kraft eller moment** (t.ex. strömavtagare på lok där höjden reglerar via en fjäder; lagom hårt, eftersom den kan slita av kontaktledningen annars)
2. **Dämpa stötar och vibrationer** (tvättmaskiner)
3. **Lagra energi** (urverk)
4. **Mäta krafter eller moment**
- 5.

Fjädrar delas in i:

- Metallfjädrar
- Gummifjädrar
- Gasfjädrar
- Gashydrauliska fjädrar

Metallfjädrar

Skruvfjädrar

Vanligaste typen av fjädrar, även kallad **spiral**fjäder. Både **drag-** och **tryck**fjädrar (öglor på drag). Kan tillverkas **kallt** (maskin lindar lång tråd till fjäder) eller **varmt** (rödglödgad tråd lindas runt cylinder).

Kallindning vanligast för fjädrar upp till 17-25 mm, annars svarmlindning.

Kulbombning

Vanligt med **kulbombning** (bombarderas med små stålkulor) => tryckspänningar i fjäderns ytskikt => dragspänningar inuti tråden. Totala spänningen = skjuvspänning vid belastning + dragspänningen.

Utmattningsbrott startas i regel i regioner med hög dragspänning, och kulbombningen minskar den maximala dragspänningen => bättre utmattningshållfasthet!

Styrning av tryckfjädrar

Finns risk för långa fjädrar att de knäcker i sidled => kan undvikas genom att använda utvändigt hylsa/invändig stång/bådadåder.

Äggformat trådtvårsnitt

Den maximala skjuvspänningen i en skruvfjäder med cirkulärt tvårsnitt uppkommer i den punkt i tvårsnittet som ligger närmast fjäderns centrumlinje => fyll på med material vid punkten => mindre maximal skjuvspänning => äggformat.

Fjädersatser

Om stor fjäderkraft behövs men ytan är begränsad => parallellkoppla fjädrar (innanför varandra) = fjädersats! Max tre, då den fjärde får så liten dimension att den inte gör nytta annars. Dimensioneras så att max. skjuvsp. är samma. Är höger-, vänster- respektive högerlindade för att undvika att de fastnar i varandra vid brott.

Skruvfjädrar med rektangulärt trådtvårsnitt (verktygsfjädrar)

Bredare tvårsnitt (ty rektangulärt) => mindre fjäder behövs. Har olika färg beroende på styvhet; grön, blå, röd, gul och silver (stigande ordning).

Tallriksfjädrar

Består av en upphöjd fjäderbricka; stor fjäderkraft trots storlek (väldigt styva). Förhållandet upphöjning, h_0 , och plåttjockleken, t , gör att fjädern har olika karaktäristik; stort h_0/t => fjädern kraftigt degressiv, annars linjär för små värden på dem. Fjäderstapel = flera tallriksfjädrar på varandra.

Viktig applikation: förspänning av kullager; eliminerar glappet mellan kulorna och ringarna. Används för att förbättra löpnoggrannheten och minska ljudnivån.

Nackdelar tallriksfjädrar: tar tid att montera ihop, flyger all världens väg vid haveri.

Lösning: Skruvtallriksfjädrar; två verktygsfjädrar som vinklas mot varandra så att den ser ut som en tallriksfjäderstapel.

Vågfjädrar

Om ont om plats i axiell led och ej stor last => vågfjädrar fördelaktigt. Består av ett vågigt metalband (typ genomskinlig spettekaka)

Buffertfjädrar (evolutfjädrar)

Består av en plåtbit som vid varmt tillstånd lindats till en strut. Trycks ihop => friktionen gör att det blir hysteret (energiförlust). Används ofta som buffertar för t.ex. tåg (tar upp stötenergin).

Ringfjädrar (friktionsfjädrar)

Större hysteret än buffertfjädrar. Består av ett antal ringar som staplats på varandra. Friktionen mellan ringarna => stor energiförlust => värme; därför insmorda med fett. Används t.ex. i buffertar för tåg.

Konstanskraftfjädrar

Består av ett upplindat stålband. Konstant kraft vid utdragning.

Bladfjädrar

Ser ut som hängmattor gjorda av snören. Finns som trapetsfjädrar (många snören) och parabelfjädrar (få snören).

Torsionsfjädrar

En axel som vrids. Vill inte vara vriden => vrids tillbaka.

Spiralfjädrar (drivfjädrar, snäckfjädrar)

Består av ett upplindat stålband. När ena fjäderändan vrids fås ett moment som är proportionellt mot vridningsvinkeln. Finns *Drivfjädrar*, där fjädervarven inte är särade (bör smörjas för att minska friktion!), och *Snäckfjädrar* (vanliga för små vridningsvinklar), där varven inte har kontakt. Används i t.ex. klockor.

Vridfjädrar

Används i klädnypor.

Gummifjädrar

Används framförallt för att dämpa svängningar och stötar. Styvheten ökar med storleken och frekvensen på belastningen. Metallbitar limmas fast mellan gummibitarna för att öka styvheten. Då metallgummifjädrar ej är tillräckligt används s.k. *hydrolager*, där seg vätska och gummi tillsammans står för dämpningen. Gummi tål ej höga temperaturer => silikon används istället.

Gasfjädrar

Består av en cylinder fylld med gas som kan komprimeras m.h.a. en kolv och betar sig då som en progressiv fjäder. Används t.ex. till lastbilar, bussar och tåg. Fjädrar tillbaka långsamt, till skillnad från en skruvfjäder. Finns en viss mängd olja i fjädern för att minska friktionen och ge dämpning vid ändlägena. Olja och gas kan passera genom små ventiler i kolven, och ventilerna kan utformas så att det är olika motstånd då kolven förs in eller ut => ex. lättare att öppna än att stänga.

Finns också gasfjädrar med en tryckknapp som förhindrar kolvstången från att gå tillbaka in i cylindern; används bl.a. i kontorsstolar. Vid tunga applikationer används istället *kvävgasfyllda verktygsgasfjädrar* för att fylla samma funktion.

Gashydrauliska fjädrar

Används till buffertar. Består av en rörlig cylinder med två sektioner som separeras av en kolv. Till vänster om kolven har man olja, till höger kvävgas. Det är även olja i en fix cylinder kolven kan röra sig fram och tillbaka i. När en kraft trycker på kolven trycks den in, varpå olja flödar från den fasta cylindern in till den rörliga cylindern => kolven rör sig åt höger => vätgasen komprimeras => kolven åker tillbaka när kraften försvinner.

Glidlager

Lager används för att tillåta relativ rörelse mellan två kroppar i vissa riktningar, och samtidigt hindra relativ rörelse i andra riktningar. Delas in i 3 huvudgrupper:

1. **Glidlager** (axeln roterar mot en smord yta)
2. **Rullningslager** (använder rullkroppar för att hålla nere friktionen)
3. **Magnetlager** (elektromagneter runt axeln håller den på plats)

Bra egenskaper för glidlagermaterial

- Låg friktion
- Bra nötegenskaper; om tillförseln av smörjmedel upphör ska inte lagret nötas sönder på en gång
- God smidighet; förmåga att anpassa sig till axelns utseende
- Bra inbäddningsförmåga; små partiklar på ytan av glidlagret ska bäddas in i lagret för att inte skada den roterande axeln
- Bra korrisionsbeständighet; det ska inte rosta
- Leda värme bra så att friktionsvärme kan ledas bort
- Liten värmeutvidgning
- Tåla stora glidhastigheter (för applikationer med högt varvtal)
- Hög belastningsförmåga (för applikationer med hög last. Står i konflikt med med önskemålet om god smidighet och inbäddningsförmåga)
- God utmattningshållfasthet (för applikationer med dynamisk last)

Metalliska glidlagermaterial

Vitmetall (Babbitt)

Tenn- eller blybaserade legeringar. Egenskaper:

- Utmärkt smidighet (bra inbäddningsförmåga, nödgångs- och glidegenskaper för tennbaserade legeringar, utmärkta för blybaserade)
- Låg belastningsförmåga (speciellt för blybaserade legeringar, förlorar 50% av bärförmågan vid 100°, nästan hela vid 200°)
- De tennbaserade legeringarna är dyrare och mer korrisionsbeständiga

Bronser

Kopparlegering med tenn, bly eller aluminium.

- Hög kopparhalt => god värmeledningsförmåga
- Högre belastningsförmåga än vitmetall, men sämre nödgångsegenskaper
- Tennbrons har hög hållfasthet och bra smidighet, lämpar sig därför i lager utsatta för stötbelastningar
- Aluminiumbrons har högst hållfasthet, värmeledningsförmåga, temperaturobeständighet och korrisionsbeständighet av alla bronser. Dock dåliga nödgångsegenskaper samt låg smidighet och inbäddningsförmåga pga materialets hårdhet (måste ha hög ytfinhet eftersom lagret inte kan anpassa sig till oregelbundenheter hos axeln)

Aluminiumlegeringar

Legeringar med 80 resp. 90% aluminium och resterande tenn resp. kisel.

- Har hög utmattningshållfasthet, utmärkt korrosionsbeständighet och hög värmeledningsförmåga. Nödegenskaperna förbättras av tenn eller kisel.

Trälager

Bästa träet för glidlager är pockenholz. Dock utrottningshotat, blivit utbytt mot hårt lönnträ. Impregneras med olja då lönn inte är självmörjande.

Rubin- och safirlager

Lager i diamanter, rubiner eller safirer ger mycket liten friktion. Idag används syntetiska rubiner eller safirer i t.ex. mekaniska armbandsur och kompasser.

Keramiska lager

- Extremt hårda; tål därför kemikalier och höga temperaturer samt är nötningsbeständiga.
- Vanligaste materialet är kieselkarbid, vilket har mycket god värmeledningsförmåga.
- Lägre värmeutvidgningskoefficient än stål.
- Används ofta i mediasmorda pumpar, dvs. pumpar där det pumpade mediet (vatten, lut eller syra) tjänar som smörjmedel => nötbeständigt material krävs pga partiklar i mediet.
- Positivt då lagret inte behöver tätas för att hålla smörjmedlet på plats

Diamantliknande Kolskikt (DLC)

Väldigt tunna skikt av diamanliknande kol (Diamond-Like-Carbon) används i lager och stålkomponenter för att minska friktionen respektive öka nötnings- och korrosionsbeständigheten.

Flerskiktslager

Inget material har enskilt optimala egenskaper för att fungera som glidlagermaterial => glidlager med flera skikt, där varje skikt har en speciell uppgift.

Smörjmedel

Glidlager smörjs ofta med olja, fett eller fast smörjmedel. Finns även mediasmörjning. Syfte med smörjning:

- Minska friktionen (mindre energiförlust => mindre värmeutveckling)
- Minska nötningen => ökad livslängd
- Hindra korrosion genom att med olja/fett minska syretillförseln

Fasta smörjmedel

Finns som pulver, glidlack och pasta.

Fördelar:

- Smutsar inte ner så mycket
- Kan användas inom ett mycket brett temperaturintervall
- Avdunstar inte i vakuum
- Resistent mot kemikalier
- Stark strålning har mindre negativ inverkan på fasta smörjmedel jämfört med olja och fett

Nackdel:

- Den applicerade filmen med fast smörjmedel slits ner efter en tid => smörjande förmåga upphör

Smörjoljor

Mineraloljor, syntetiska oljor och vegetabiliska oljor.

- Viskositeten minskar med ökande temperatur (varierar mer för mineraloljor än syntetiska oljor)
- Den hydrodynamiska bärförmågan ökar linjärt med viskositeten
- => Dock ökar energiförlusten i lagret linjärt med viskositeten => applikationer med hög last och låg glidhastighet => oljor med hög viskositet, applikationer med lätt last och hög glidhastighet => låg viskositet.

Viskositetsindex: Avgör hur mycket viskositeten ändras med temperaturen. [90,140] för kommersiella mineraloljor. Finns upp till 400. Motorolja är ofta en blandning för att ha rätt viskositet både vinter och sommar (t.ex. SAE 20W-50).

Tillsatser i oljor: för att förbättra oljans egenskaper kan olika *additiver* tillsättas:

- **Viskositetsförbättrare** (ser till att viskositeten inte minskar alltför mycket med stigande temperatur)
- **Lägsta flytpunktsförbättrare** (ser till att oljan kan rinna även vid mycket låga temperaturer)
- **Antifriktions- och antinötningsadditiv** (skapar tunna gärnsskikt på lagret och axeln vilket minskar friktionen vid start och stopp då en bärande oljefilm inte existerar)
- **Skärnings- och svetsbegränsare** (extra tåliga gränsskikt)
- **Extreme-Pressure (EP)-additiv** (skapar skyddande filmer på ytorna om temperaturen i lagret blir mycket hög)
- **Skumdämpare** (minskar skumningen => bättre smörjning)
- **Renhållningsmedel** (fångar upp partiklar => förhindrar att lager och axel inte skadas. Därför motorolja blir svart)
- **Antioxidanter** (minskar oxidationen av oljan)
- **Korrisionshämmare** (skapar rostresistenta ytskikt på lager och axel)

Smörjfetter

Består av mineral-, syntet- eller vegetabilisk olja (80%), förtjockare (10%) och tillsatser (10%). Förtjockaren fungerar som en tvättsvamp som binder oljan till sig så att endast lite i taget lämnar fett för att smörja lagret.

Ex. på förtjockare:

- Tvålar baserade på litium, kalium, natrium, barium eller aluminium
- Kieselgel
- Bentonit (jordart med stor uppsugningsförmåga)
- Polyurea (en elastomer)
- Lera

Smörjning av glidlager

För fettsmorda lager som måste smörjas kontinuerligt förs fett in via s.k. smörjnipplar.

Olika metoder för kontinuerlig smörjning:

- **Krympa fast en stålring på axeln**(tillsammans med en avskrapare gör den att olja droppar ner på lagret vid drift)
- **Tryckoljesmörjning** (för lager med höga varvtal och stor belastning. En pump används för att föra upp oljan till axeln)

Enkla glidlager

Fungerar i regel utan smörjning (s.k. torrfriktion). För att veta vilket lager man ska använda kan man använda sig av följande checklista:

- **Hög belastning, > ca 140 Mpa**
Med smörjning:
 - Bronslager**Utan smörjning**
 - Bronslager med grafitstavar
 - Kompositplastlager
- **Medelhög belastning, 70-140 Mpa**
Med smörjning:
 - Rullat treskiktsglager av stål/sinterbrons/acetalplast
 - Rullat treskiktsglager av stål (alt. brons)/sinterbrons/teflon**Utan smörjning:**
 - Rullat treskiktsglager av stål (alt. brons/sinterbrons/teflon)
 - Plastlager
- **Låg belastning, < 70 Mpa**
Utan smörjning:
 - Plastlager
 - Sintrat bronslager

Massiva bronslager

Smörs antingen med fett eller olja via smörjspår i lagret. Fäst m.h.a. temperatursänkning (storleken minskar => sätts på plats)

Bronslager med grafitstavar

För applikationer med hög lagerbelastning och låg glidhastighet som man inte kan smörja kontinuerligt => bronslager med uppborrade radiella hål fyllda med grafit (smörjmedlet)

Sintrade bronslager

Tillverkas genom att man blandar ihop metallpulver och pressar ihop det under högt tryck (=> poröst material) varpå det utsätts för hög temperatur och sen impregneras med olja (poröst => håligheter fylls med olja). Kan endast användas vid låg lagerbelastning pga porösheten. Får inte heller vara för låg glidhastighet, då höga temperaturer krävs för att locka ut oljan ur lagret.

Rullade bronslager, perforerade eller med smörjfickor

Tillverkas genom att man rullar ihop en plan bronsskiva. Är antingen perforerade eller försedda med små gropar vilka tjänar som smörjfettsdepåer. Jämfört med massivt bronslager förlängs smörjningsintervallen då håligheterna är större. Används främst i applikationer med höga laster och låga glidhastigheter (t.ex. skogsbruksmaskiner).

Rullade treskiktslager av stål (alt. brons)/sinterbrons/teflon

Teflon gör att låg friktion erhålls utan smörjning, har dock dålig hållfasthet och hög värmeutvidgning => används tillsammans med en stomme av stål/brons. Har ett mellanskikt av sinterbrons för teflonet ska kunna fästa bättre.

Rullade treskiktslager av stål/sinterbrons/acetalplast

Teflonet kan bytas ut mot acetalplast, dock krävs det smörjning vid monteringsstillfället. Små smörjfickor gör att lagren är i princip underhållningsfria.

Plastlager

Består endast av ett lager plast. Tål mestadels endast låg belastning (> 70 MPa) och låga temperaturer (> 100°).

- Tål smuts mycket bra
- Är korrisionsbeständiga
- Anpassar sig bra mot axeln och dämpar vibrationer bra
- Nöts långsamt
- Behöver ej smörjas och innehåller inte bly

Kompositplastlager

Består av en stomme av glasfiberväv inbäddad i epoxy (hårdplast). Samma egenskaper som plastlager, men tål högre laster.

Ledlager

Lager som kan anpassa sig till axelns lutning. Består av en ytterring och en innerring som kan vinklas relativt ytterringen. Finns som:

- Stållager för fettsmörjning
- Underhållsfria stållager med ett glidskikt av teflon/sinterbrons
- Underhållsfria plastlager

Används bl.a. för axlar som vibrerar p.g.a. obalans (t.ex. grävmaskiner)

Hydrodynamiska axiallager

Utförs antingen med fixa block eller med s.k. självinställande block som är lagrade så att de kan ändra sin lutning. Självinställande axialblockslager är vanligast eftersom de är billigare och enklare att tillverka, men har nackdelen att de kan komma i svängning vid t.ex. en stöt. Används i t.ex. turbiner i vattenkraftverk, gasturbiner i kraftverk och pumpar.

Hydrodynamiskt radiallager

Finns två typer:

- **Motorlager**
- **Fleryteglidlager**: om axeln roterar med högt varvtal och låg belastning kan axeln lätt börja hoppa omkring => lösning: flera konvergerande oljespalter så att axeln centreras bättre.

Fyra varianter:

- **Offset halves-lager** (två cirkulära halvcirklar med en viss offset (typ hack i lagret). När lagret roterar åt rätt håll bildas en konvergerande oljespalt => bärförmåga)
- **Tvålobiga lager** (formad som en citron => axeln kan rotera åt båda håll)
- **Trelobiga lager** (både en och två rotationsriktningar)
- **Självinställande radialblockslager** (ledas för att använda i en eller båda rotationsriktningarna)

Kombinerade hydrodynamiska axial- och radiallager

Används t.ex. i fartyg för att lagra propelleraxeln intill växellådan.

Aerodynamiska lager

Då en roterande axel bäras upp av en konvergerande luftspalt. Låg viskositet => sämre bärförmåga än olja, krävs höga hastigheter. Ex. folielager, kräver inget smörjsystem. Används främst i turbomaskiner.

Hydrostatiska lager

Använder sig av en pump som pressar in olja under högt tryck.

Aerostatiska transportanordningar

Krävs inte alltid olja för att få bärverkan; i vissa fall räcker det med tryckluft. Ex: svävare; bärande luftfilm fås på undersidan.

Jämförelse mellan glidlagertyper

- **Enkla glidlager:** billiga och bra för låga varvtal
- **Hydrodynamiska lager:** bra för höga varvtal, men kräver ett visst varvtal för att generera bärande oljespalt; innan dess är nötningen och friktionen förhållandevis stor. Lågt belastade axlar blir även ostabila vid höga varvtal.
- **Hydrostatiska lager:** lämpliga för höga varvtal, har bärverkan även då axeln står stilla och är väl centrerad i lagret för alla varvtal. Inte lika känslig mot stötar då det är större lagerglapp än vid hydrodynamiska lager. Dock väldigt mycket dyrare.

Magnetlager

I magnetlager används elektromagneter för att styra axeln så den inte kommer i kontakt med lagerskålarna. För att axeln ska vara centrerad för olika lagerbelastningar är magnetfältets styrka justerbar. Om belastningen är för stor, eller om strömmen bryts, finns s.k. *touch-down-lager*, kullager som används för att fånga upp axeln. Förses med ytteringar av gummi alternativt ett fjädrande stålband (toleransring) för att dämpa stöten (fungerar trots det endast ett fåtal gånger).

Fördelar med magnetlager:

- Tål mycket höga varvtal
- Vibrerar inte
- Håller länge
- Ingen mekanisk kontakt => låg energiförbrukning => låg lagerförlust jämfört med rullnings- eller glidlager
- Smörjningsfria. Kan användas i vakuum, extrema temperaturer och korrosiva miljöer

- Låga underhållskostnader

Nackdelar med magnetlager:

- Dyra i inköp
- Drar till sig järnpartiklar
- Förhållandevis stora
- Måste använda touch-down-lager

Rullningslager

Uppbyggnad

- Rullningslager som ska ta upp radiella OCH axiella krafter: innehåller en yttering och en innerring
- Rullningslager som ENDAST ska ta upp axiella krafter: har en axelbricka och en husbricka (som en dubbelmacka)

Mellan ringarna/lagren rör sig rullkroppar som hålls på plats av rullkroppshållare. Kan även vara s.k. fullrullehållare, där rullkropparna rör sig fritt i lagret utan rullkroppshållare.

Vanligast att ringarna/brickorna och rullkropparna består av härdat stål, men förekommer även plast, keramiska material och (för rullkropparna) glas. Rullkropparna finns i olika form; kulor, cylindriska rullar, nålrullar, koniska rullar och bomberade (avrundade).

Rullkroppshållarnas uppgift:

- Hålla rullkropparna ifrån varandra för att minska friktionen och därmed värmeutvecklingen
- Se till att rullkropparna alltid har samma avstånd ifrån varandra => jämn lastfördelning
- Hindra att rullkropparna ramlar ut
- Styra rullkropparna runt i lagret där de är obelastade

Rullkroppshållare finns antingen *pressade* eller *massiva*. Pressade består av två stålplåtar (som sätts fast på rullkropparna. Fordel: lättare vikt än massiva), medan massiva består av mässing, stål eller sintermetall (borrade hål för rullkropparna).

Tätningar

Lager behöver tätas för att se till att smörjmedlet inte lämnar lagret och så att inte smuts kommer in. Tätningar är antingen externa eller monterade direkt på lagret. Det finns två typer av tätningar; **Frikterande** och **beröringsfria**.

Frikterande tätningar

Trycker mot axeln för att ge så effektiv tätning som möjligt. Smörjs med fett för att minska friktion. Oljesmorda lager är svårare att täta än fettsmorda.

Beröringsfria tätningar

Har ingen mekanisk kontakt med axeln => slits inte => kan användas vid höga varvtal pga. lägre friktion. Fungerar genom att centrifugalkraften slungar ut partiklar som hamnat i tätningens sicksackspår.

Snedställning av axlar och självinställning

Uppriktningsfel: då en maskin och en motor placerats så att deras axlar inte sammanfaller exakt => uppstår höga spänningar om de tvingas ihop. Är ett statistiskt fel eftersom det inte varierar med tiden. Finns även dynamiska snedinställningar; då en axel som vibrerar ändras axelns snedställning med tiden. **Lösning:** självinställande lager som anpassar sig efter axelns snedställning.

Passning för ringarna

För en ring där lastriktningen ändras med tiden relativt ringen krävs fast (hård) passning vid montering av ringen, eftersom ringen annars roterar relativt axeln/lagerhuset => **Passningsrost** (ytorna skadas med korrosion) => slitage => vibrationer.

Lagerarrangemang

Styrlager och frigående lager

Ytter- eller innerringen i ett av lagren monteras med lös passning och ett axiellt glapp => avståndet mellan lagren kan variera. Kallas *Frigående lager*. Det lager som tar upp den axiella kraften kallas *Styrlager*.

Flytande lagring

Kan utnyttjas när en noggrann axiell styrning av axeln inte behövs. Består av två semifrigående lager som tillsammans kallas en *flytande lagring*.

Ansatt lagring

Då en noggrann axiell styrning av axeln samt axiellt styvt lagring är nödvändig förspänner man lagren m.h.a fjädrar. Styvt lager: en stor axiell kraft ger bara upphov till en liten axiell förskjutning. Ljudnivån minskar då fjädrarna minskar det annars förekommande radiella glappet mellan rullkropparna i lagret.

Smörjning av lager

Rullningslager smörjs (med fett, olja eller omgivande medium) för att:

- Tillse att rullkropparna inte är i metallisk kontakt med ringarna eller hållaren => minska nötningen
- Leda bort värme (endast flytande smörjmedel, ej fett/fast)
- Skydda lagret mot föroreningar
- Minska ljudnivån
- Skydda mot korrosion

Fettsmörjning klart vanligast. Oljesmörjning vid höga varvtal.

Lagertyper

Ett lagers lastförmåga illustreras med pilar som är tomma samt ifyllda till 50, 75 respektive 100%. Ish.

Spårkullager

- Enkel konstruktion => billiga, robusta, lätta att underhålla
- Låg friktion => tål höga varvtal
- Tål medelhög belastning
- Är inte självinställande (ju större snedställning, desto kortare livslängd och högre ljudnivå)

Spårkullager med ifyllningsspår

Ett ifyllningsspår i lagret gör att man kan använda fler och större kulor än i ett vanligt spårkullager.

Fördel: radiella lastförmågan ökar. **Nackdel:** axiella lastförmågan minskar, samt maximalt varvtal sänks pga. högre friktion.

Y-lager (S-lager)

Självinställande; består av ett spårkullager med sfärisk form på ytterringsen som placerats i ett lagerhus. Kan vara något snedställd tack vare ytterringsens sfäriska form, klarar dock Ej av dynamisk snedställning orskad av vibrationer. **Fördelar:** enkel konstruktion, montering, underhåll och demontering då lagren inte sitter inuti själva maskinerna utan utanför.

Vinkelkontaktlager, enradigt

Liknar spårkullagret, men ringarna är formade så att kraften på dem alltid har samma riktning (definierad av kontaktvinkeln α). Pga detta: axiell belastning => både axiell och radiell belastning av kulorna. Kan bara ta upp axiella krafter i en riktning pga. sin konstruktion.

- Ju större α , desto större är lagrets axiella bärförmåga
- Tål höga varvtal
- Ej självinställande
- Vid användandet av två vinkelkontaktlager måste de monteras spegelvänt så att varje lager tar upp krafter i respektive axiell riktning. Monteras i O- eller X-anordning.

Vinkelkontaktlager, tvåradigt

Sparar plats i axiell led jämfört med två enradiga vinkelkontaktlager. Fungerar som två enradiga lager i O-anordning.

Fyrpunktskontaktlager

Variant av vinkelkontaktlager som kan ta upp stora axiella krafter åt båda hållen. Kompaktare i axiell led än tvåradiga vinkelkontaktlager, men tål inte lika höga varvtal. **Hög** axiell bärförmåga, **Låg** radiell.

Axialkullager

Tar upp måttligt stora axiella krafter, ej självinställande. Innehåller många kulor => belastningen på varje kula inte så stor. Ser ut som ett platt pärlhalsband med en ytter- och en innerring.

Sfäriska kullager

Har en yttering som är sfärisk så att kulorna och innerringen kan snedvridas relativt ytterringsen.

- Självinställande
- Lägst friktion av alla rullningslager => kan användas för höga varvtal
- Tål inte så stora belastningar

Cylindriska rullager

Består av cylindriska rullkroppar (avrundade hörn för att undvika kantspänningar).

- Tål mycket hög radiell belastning
- Axiella bärförmågan varierar för olika modeller
- Mycket låg friktion (nästan lika låg som sfäriska kullager)
- Ej självinställande

Används t.ex i elektriska motorer och transmissioner.

Cylindriska axialrullager

Används där lasten är för stor för att kunna använda axialkullager. Ej självinställande. Ser ut som ett axialkullager (pärlhalsbandet) men med cylinderformade rullkroppar istället för sfäriska.

Nållager

Cylindriska rullager där rullarnas längd är 2.5-10 ggr så stor som dess diameter. Finns en- och tvåradiga och flera andra modeller med olika egenskaper och utseenden.

- Tar väldigt liten plats i radiell led
- Stort friktionstal, men kan pga sin lilla storlek användas vid höga varvtal

Används i t.ex. symaskiner.

Koniska rullager

Har en löstagbar yttering. Kan bara ta upp axiella krafter i en riktning. Centrumlinjen för de koniska rullkropparna har vinkeln α mot axelns centrumlinje.

- Hög bärförmåga i radiell och axiell led (ju större α , desto större axiell bärförmåga)
- Tål medelhöga varvtal
- Ej självinställande
- Förspänns på samma sätt som vinkelkontaktlager (O- resp. X-format)

Sfäriska rullager

Har två rader med bomberade symmetriska rullar mot en sfärisk löpbana i yttringen och två löpbanor i innerringen, vilket gör att innerringen kan snedställas relativt yttringen => Självinställande!

- Tål höga radiella laster och medelhöga axiella laster i båda riktningarna
- Kan användas för medelhöga varvtal
- Kan kompensera för både uppriktningfel och dynamisk snedställning av axeln
- Tål stötar bra

Används ofta i tung industri.

Sfäriska axialrullager

Består av bomberade osymmetriska rullkroppar. (Hela anordningen ser ut som en kon)

- Klarar mycket hög axiell belastning (i ena riktningen) och ganska stor radiell belastning
- Tål ganska höga varvtal
- Är självinställande

Kryssrullager

Innerringen består av cylindrar som är vinklade 90° mot varandra => kan ta upp stora radiella och axiella krafter men också vridande moment. Används ofta i industrirobotar.

Svängkranslager

Ringarna är försedda med skruvhål så att de enkelt kan monteras. En av ringarna kan vara försedd med kuggar så att ringen kan drivas av en motor. Kan vara stora, upp till 10 m, och används t.ex. i oljetankrar.

CARB-lager

- Självinställande och klarar dynamiska snedställningar
- Hög radiell lastförmåga

- Kan inte ta upp axiella krafter alls
- Tål medelhöga varvtal

Används i t.ex. pappersmaskiner, fläktar etc.

Delade lager

I ett delat lager är ringarna och rullkroppshållarna delade mitt itu. Detta för att underlätta montering och demontering av lagren.

- Dyrare i inköp än odelade lager (dock kortare monterings-tid!)
- Tål inte lika höga belastningar och varvtal samt låter mer pga skarvarna

Plastlager

I plastlager är ringarna tillverkade av plast, medan rullkropparna är antingen plast, glas, keramiskt material eller rostfritt stål.

Fördelar:

- Nöts inte ner snabbt och ger låg friktion trots avsaknandet av smörjmedel
- Tål många kemiska vätskor
- Omagnetiska
- Tål stötar bättre och låter mindre än vanliga stålkullager
- Mycket lättare
- Vanligast att plastlager tål upp till 100°, men finns vissa som klarar 250°. Stållager klarar 120-200°.
- Tål dock inte lika höga belastningar eller varvtal som stållager

Keramlager och hybridlager

I helkeramiska lager är ringarna och rullkropparna av keramiskt material.

Fördelar keramiska lager:

- Hårda och styva
- Låg densitet
- Låg friktion
- Klarar sig utan extra smörjmedel
- Hög värmetålighet
- Korrosionsbeständiga
- Längre livslängd än stållager
- Omagnetiska
- Leder inte ström

Hybridlager är gjorda av en blandning av keramiska lager och stållager; ringarna är gjorda av stål medan rullkropparna är av keramiskt material => tål högre varvtal än vanliga stållager eftersom rullkropparna väger mindre => mindre centrifugalkraft.

Lager med keramiskt ytskikt

Billigare alternativ till hybridlager; rullkropparna, och ev. ringarnas löpbanor, är gjorda av stål men försedda med ett mycket tunt ytskikt av keramiskt material. Används i applikationer där smörjningen inte räcker till för att ge en bärande oljefilm.

Montering av rullningslager

Lagerringar kan monteras med hård passning genom att slå eller pressa dem till rätt läge. Lager kan även monteras genom att värma upp dem så att deras innerdiameter ökar (som i labben).

Hammare respektive press

Små lager ($d < 50$ mm) kan slås upp på axeln m.h.a. en hammare och en slaghylsa (anpassad efter lagrets storlek). För innerdiameter upp till 100 mm kan en mekanisk eller hydraulisk press användas.

Värmeplatta respektive oljebad

Mindre lager kan värmas upp på en värmeplatta, men för att få en jämn värmefördelning måste lagret vändas flera gånger. För större lager är oljebad ett alternativ. Dock blir lagret väldigt kladdigt..

Induktionsvärme

Smidig, ren och snabb metod är att värma lagret med en induktionsvärmare. Under uppvärmningen blir lagret magnetiskt.

Klämhylsa respektive draghylsa

En klämhylsa är en slitsad hylsa som är cylindrisk på insidan och konisk på utsidan. Monteras sen lagret på axeln mha en *haknyckel* med vilken man drar åt en *låsmutter*.

Fördelar klämhylsa:

- Enkel montering och demontering
- Gör det möjligt att montera ett lager långt in på en axel
- Axelns diameter behöver inte ha så fin tolerans

Finns dock bara för sfäriska kullager, sfäriska rullager och CARB-lager.

Tryckoljemetoden

Större lager med koniska hål går ej att montera för hand. För att montera ett lager kan man t.ex. använda en hydraulmutter som monteras fast på klämhylsan. Denna har en kolv som rör sig i axiell led när olja mha tryck pumpas in i muttern under högt tryck. När lagret är på plats tas hydraulmuttern bort och ersätts med en låsmutter.

Demontering av rullningslager

Kan, precis som montering, ske i kallt eller varmt tillstånd, med eller utan tryckolja.

Avdragare

Med avdragare kan ringar monterade med hård passning pressas loss. Finns två- och trearmade, trearmade bäst pga stabilitet (ser ut som en greppkrok). För större lager används hydrauliska avdragare där en pump genererar avdragningskraften. Viktigt att man, om det är möjligt, inte belastar rullkropparna genom att endast greppa i den ring som sitter med hård passning.

Tryckoljemetoden

Kan även användas för avmontering av ett lager.

Värmeringar

För att demontera inneringen i ett cylindriskt rullager eller ett nållager hettar man upp en slitsad värmering av aluminium till 2-300° och för den över ringen som börjar expandera => tas bort.

LinjÄrlager

LinjÄrlager anvÄnds fÖr att lagra en kropp som ska rÖra sig rÄtlinjigt lÄngst en skena.

Kulbussningar

En kulbussning Är en bussning (rÖrformad hylsa) dÄr kulor kan cirkulera lÄngs ett antal O-formade spÄr. Kulorna rÖr sig direkt mot hylsan.

Skenstyrningar

FÖr hÖgre laster anvÄnds skenstyrningar. Finns med, respektive utan, cirkulerande rullkroppar. Med cirkulerande rullkroppar kan man ha fler rader; ju fler rader desto stÖrre lastfÖrmÅga och styvhet. Skenstyrning utan cirkulerande rullkroppar finns med kulor, rullar (ev. som kryssrullager) eller nÅlrullar.

Kulskruvar

Är egentligen inga lager utan skruvar. AnvÄnder cirkulerande kulor mellan muttern och skruven fÖr att minska friktionen. AnvÄnds fÖr att omvandla en roterande rÖrelse till en linjÄr rÖrelse.

Rullskruvar

I rullskruvar sitter ett antal skruvar, sk planetskruvar, mellan muttern och skruven. Rullskruvar har bÄttre hÅllfasthet, ger hÖgre precision och styvhet samt klarar hÖgre farter och accelerationer Än kulskruvar.

JÄmfÖrelse mellan rullningslager och glidlager

FÖrdelar med rullningslager:

- LÄgre friktion vid start och lÅga varvtal
- KrÄver mindre smÖrjmedel => lÄttare att underhÅlla
- Är standardiserade => enkelt att vÄlja lager

Nackdelar med rullningslager:

- Kortare livslÄngd pga materialutmattning (hydrostatiska och hydrodynamiska lager som inte stannas ofta har i princip oÄndlig livslÄngd om smÖrjnigen fungerar ordentligt)
- Är kÄnsligare fÖr vibrationer och stÖtar eftersom kontaktrycket Är hÖgre
- Tar stÖrre plats i radiell led
- KÄnsliga mot smuts => mÅste tÄtas
- KÄnsliga fÖr korrosionsangrepp
- LÅter mer
- KrÄvs en minsta lagerbelastning fÖr att inte rullkropparna ska glida vilket orskakar glidfÖrluster
- Stora lager Är dyra

Kugghjul

Transmissioner

För att överföra en motors vridmoment till en maskin används en transmission. Utväxlingen i för en godtycklig transmission definieras som varvtalet för den ingående axeln genom varvtalet för den utgående axeln: $i = n_{in}/n_{ut}$. Ofta är $i > 1$, vilket innebär att vridmomentet M_{ut} på den utgående axeln är större än på den ingående. Transmissioner är antingen *Formbetingade* eller *Friktionsbetingade*.

Friktionsbetingad Transmission

En friktionsbetingad transmission fungerar endast då friktionen är tillräckligt hög (ex: planremsväxel). Utväxlingen beror också på lasten eftersom sliringen ökar med ökande belastning.

Formbetingad transmissioner

Kropparnas speciella form gör att de fungerar oavsett friktionen (Ex: kuggremsväxlar, kedjeväxlar och kuggväxlar). Utväxlingen påverkas ej av lastens storlek, de är *Synkrona*.

Profilförskjutning för kugghjul

Profilförskjutningsfaktorn, x : negativt x innebär att ingreppstalet ökar, dvs. antalet kuggpar som i medeltal är i kontakt ökar => mindre oljud => men sämre hållfasthet.

Snedkugg vs rakkugg

Cylindriska snedkugghjul är antingen höger- eller vänstervridna. För att kugghjul ska kunna användas ihop krävs att de har samma modul, ena hjulet är vänsterskuret och det andra högerskuret samt att snedvinklarna är lika stora. **För både rak- och snedkugg är kontakterande kuggpar i kontakt med varandra längs en rät linje utmed kugghjulens bredd.** När två rakskurna kuggpar kommer i kontakt med varandra "pangar" de ihop längs hela kugghjulets bredd => oljud. Snedskurna kuggpar kommer i kontakt med varandra i ett hörn, varefter längden på kontaktlinjen ökar och sen minskar, innan kuggparet förlorar kontakt med varandra => Mindre oljud än för en rakkugg=> även längre kontakttid för de två kuggparen => större ingreppstal (fler kontakterande kuggpar i ett visst ögonblick) => lasten på kuggarna minskar => högre hållfasthet => dock, längre kontaktsträcka => maximala glidhastigheten ökar => större energiförlust för snedkugg.

Viktigt att ta hänsyn till vid snedkugg: bildas en axiell komposantkraft då kuggen belastas. Axeln måste därför lagras så att denna axiella kraft kan tas upp.

Finns även andra typer av kugghjul; *dubbelsnedkugghjul* eller *pilkugghjul*. Pilkugghjul ger högre hållfasthet för samma bredd eftersom den inte har en lucka mellan flankerna (kan tillverkas genom att ett höger- respektive vänsterskuret kugghjul sätts ihop). Dubbelsnedkugghjul har en snedvinkel på runt 20°, medan pilkugghjulet har snedvinklar mellan 30 och 45°. Snedkugg tål högre last än rakkugg.

Kuggskador

I en kugge fås spänningar, sk. flankpåkänningar. Om dessa spänningar blir för stora flisas ytorna sönder, även kallat gropbildning eller *pitting*.

Vid kuggens fot är böjspänningarna som störst; går av där om lasten är för stor => finkornig brottyta. Om brottytan istället har "årsringar" => utmattningsbrott.

Cylindriska flerstegskuggväxlar

Används för att öka vridmomentet hos en elmotor. Flerstegsväxlar då det rent praktiskt är svårt med endast ett kugghjul. Består oftast av snedkugg med två eller tre växlar, tvåsteg har ofta utväxling på 4-40 medan tresteg har en utväxling mellan 40 och 200.

Planetväxlar

Kan användas istället för vanliga kuggväxlar.

Fördelar med planetväxlar:

- De är kompakta och lätta
- Mycket höga utväxlingar kan erhållas med ett förhållandevis litet antal komponenter
- Genom att låsa eller sammankoppla diverse axlar kan olika utväxlingar erhållas med en kompakt växellåda
- In- och utgående axlar ligger i linje med vandra
- Verkningsgraden är något högre än för en vanlig kuggväxel

Nackdel med planetväxel: Pga sin kompakthet blir planetuset lätt varmt => svårt att kyla.

Industriplanetväxlar

I en trehjulspanetväxel för industriellt bruk är motorn koppad till solhjulet, medan den utgående axeln är kopplad till planethållaren. Ringhjulet är fixt. Om motorn roterar medurs, roterar planethjulen moturs och den utgående axeln roterar medurs. Kan ha rak- eller snedkugg. Ifall krav på ljudnivå: snedkugg används.

Växellådor i vindkraftverk

Använder sig av växellådor mellan rotorbladen och generatoren för att göra generatorvarvtalet större rotorbladvarvtalet.

Vinkelväxlar

Ibland är det opraktiskt att använda växellådor där in- och utgående axel är parallella => bättre med vinkelväxlar där in- och utgående axel är vinklade mot varandra.

Hypoidväxel

I en traditionell konisk växel skär pinjongaxeln centrum av kronhjulet, men i en hypoidväxel har pinjongaxeln en viss offset mot kronhjulet centrum. Fördelen med detta är att kardanaxeln som leder till motorn hamnar lägre => frigör utrymme. Dock är fler kuggar i kontakt med varandra samtidigt än vanligt => högre temperatur.

Snäckväxel

Speciella växlar där vinkeln mellan in- och utgående axel alltid är 90°. På ena axeln sitter en *snäckskruv* (1-4 ingångar), som rör sig mot ett snäckhjul vilket är ett kugghjul med en speciell form; antingen cylinder eller globoid (konkav, ish). Bäst med globoidformade snäckor då antalet kontakterande kuggar ökar, men dyra. Vanligaste kombinationen: cylindersnäcka med globoidkugghjul.

Fördelar med snäckväxlar jämfört med koniska växlar:

- Ger mycket hög utväxling i ett enda steg
- Kuggarna kommer i kontakt med varandra betydligt "mjukare" vilket reducerar vibrationer och oljud

Nackdelar med att använda snäckväxlar istället för koniska växlar:

- Större energiförlust (verkningsgrad mellan 40 och 90% för snäckväxlar, upp till 96% för konisk växel)
- De slits mer eftersom glidningen är större. För att motverka detta tillverkas snäckorna av material med låg friktion, hög nötningsbeständighet och bra värmeledningsförmåga. Stål för snäckor, brons för snäckhjulen
- Kräver större lager, pga högre axiella krafter

Smörjning av kugghjul

Kugghjul smörjs av samma anledning som man smörjer rullningslager.

- Fettsmörjning används för låga hastigheter (t.ex. bormaskiner, skruvdragare)
- Oljebadsmörjning används för högre hastigheter
- Insprutssmörjning används för riktigt höga hastigheter; olja under tryck sprutas direkt mot de kuggar som precis ska gå i angrepp

Tillverkning av kugghjul

Skärande bearbetning

- Fräsning (vanligast. Dock endast till utvändiga kuggar, ej till t.ex. planetväxlars ringhjul)
- Hyvling
- Dragbrotschning (invändig kugg, en typ gängad grej förs ner i ett hål. Ish.)
- Skavning: tar bort ojämnheter
- Slipning: jämnar till kuggarna

Slintring

Icke-skärande tillverkningsmetod där metallpulver blandas och sen pressas till önskad form. Hettas sen upp och svalnar av. Bra för att tillverka svåra former samt så blir det inget spill, även billigare än fräsning i stora kvantiteter. Dock blir hållfastheten sämre, men formen kan optimeras och till viss del minimera detta.

Plastkugghjul

Fördelar plastkugghjul:

- Låg ljudnivå
- Lätta
- Rostar inte, tål många kemikalier
- Hög nötningsbeständighet
- Billiga

Cykloidkugg

För kontakt mellan två cykloidkuggar är alltid den övre delen av en kugge i kontakt med den undre delen av en annan kugge. Den övre delen av en kugge är konvex medan den undre är konkav. För en evolventkugg är isället hela kuggflanken konvex => mindre kontaktyta => lägre kontaktspänning för en cykloidkugg! Dock; används knappt idag pga att de dyra att tillverka samt tenderar att vibrera vid kontakt.

Harmonic-drive

En växellåda med ovalliknande *wave generator* på den ingående axeln. När denna roterar deformeras en tunn elastisk sk *flexspine* med utvändiga kuggar som sitter fäst i wave-generatorn. Dessa rör sig mot invändiga kuggar i ett ringhjul (ofta fixt). Ringhjulet har z_3 kuggar och flexsplinen z_2 kuggar. Utväxlingen beräknas enligt:

$$i = -z_2 / (z_3 - z_2)$$

Det gäller alltid att $z_3 = z_2 + 2$.

Fördelar Harmonic-drive:

- Inget glapp (inte ens efter lång tid)
- Små och lätta
- Klarar höga moment
- Utväxling på upp till 320 i ett steg
- Håller länge