

Platta EMC-packningar, kompressionsstopp och Monte Carlo-analys

När en EMC-tätning (elektromagnetisk kompatibilitet) utformas är det i allmänhet bäst att specificera en packning i ett spår, vanligtvis en O-ringstättning eller någon annan standardprofil. I vissa fall går det inte att använda den här tätningstypen. Då väljer man i stället platta packningar. I sådana fall är korrekt hantering av packningsavböjning under tryck avgörande för att maximera dess effektivitet och livslängd.

Platta packningar finns i en mängd olika material med olika egenskaper och prestanda. Det kan till synes verka mycket enkelt: tillverka packningen, applicera fästelementen och montera. Tyvärr är det inte riktigt så lätt, särskilt inte när packningen huvudsakligen består av gummi och vissa ytor på den har relativt små tvärsnitt.

Ta ett vanligt exempel med MIL-DTL-38999-packningar med små hylsor – vanligtvis 0,81 mm tjocka med ett stort centralt hål med en diameter på 15–25 mm och fyra fästskruvhål med en diameter på cirka 3 mm. Många faktorer kräver noggrann granskning för att säkerställa en optimal tillämpning, inte minst för att uppnå rätt nivå av avböjning/kompression.

Chomerics handbok för ledande elastomer anger att en CHO-SEAL 1285 platt packning ska avböjas mellan 5% och 15% av sin ursprungliga tjocklek, vilket i det här fallet är 0,81 mm med en tolerans på $\pm 0,13$ mm. Bortsett från denna något stora tolerans, som är ett resultat av plätgjutningsproces-



Av Gerard Young, Parker Chomerics

Gerry Young har en kandidatexamen i maskinteknik från University of Sheffield och har arbetat på Parker Hannifin CDE sedan 2013. Tidigare arbetade han på olika tillverkningsföretag med att lösa problem inom hydraulik, vibrationsisolering, värmehantering och EMI-avskärmning.



sen, är det även viktigt att ta hänsyn till dessa produkters elasticitetsmodul som vanligtvis är cirka 1–2 MPa. Dessutom är packningens kompressionsmodul relaterad till dess formfaktor och ligger i allmänhet inom området 30–50 MPa. Detta omvandlas till en fjäderhastighet med formeln $K = AE/t$, som för anslutningspackningen i bild 1 är cirka 10 500 N/mm, där K är fjäderhastigheten i N/mm, A är arean i mm², Ec är kompressionsmodulen i N/mm² och t är tjockleken i mm (Gent, Engineering with Rubber, kapitel 8, 2012).

Med tanke på att packningens yta är cirka 250 mm² och att skruvarna som används för att fästa anslutningen sannolikt är M2,5, kommer åtdragningsmomentet för en sådan skruv att vara cirka 0,6 Nm. Med uppskattningen $T = 0,2 Fd$, där $F = 1200$ N, ger fyra M2,5-skruvar en belastning på cirka 4800 N. Med hänsyn till den beräknade kompressionsmodulen kommer denna belastning att avböja packningen med cirka 0,45 mm, vilket är betydligt mer än vad som krävs för att komprimera packningen till det maximalt tillåtna 15%.

Du måste sätta stopp

Det är därför nödvändigt att överväga användningen av kompressionsstopp för att axla överbelastningen när avböjningen överskrider 15%. Dessa stopp, vanligtvis tillverkade av aluminium i 5000- eller 6000-serien, har en kompressionsmodul på cirka 70 GPa eller 70 000 N²/mm. Så även med bara fyra kompressionsstopp med en diameter på 2 mm finns det mer än tillräckligt

Plättjocklek/ mm	Plätttolerans $\pm$ mm	Tolerans % plättjocklek	Standardavvikelse
0,51	0,10	19,61	0,017
0,81	0,13	16,05	0,022
1,14	0,15	13,16	0,025
1,57	0,18	11,46	0,030
2,36	0,25	10,59	0,042
3,18	0,25	7,86	0,042

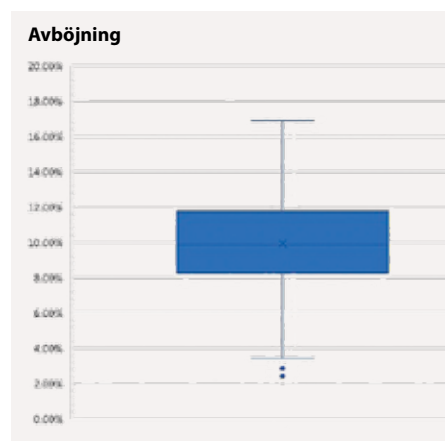


Bild 2. Chomerics standardtjocklekstoleranser för CHO-SEAL-plätt.

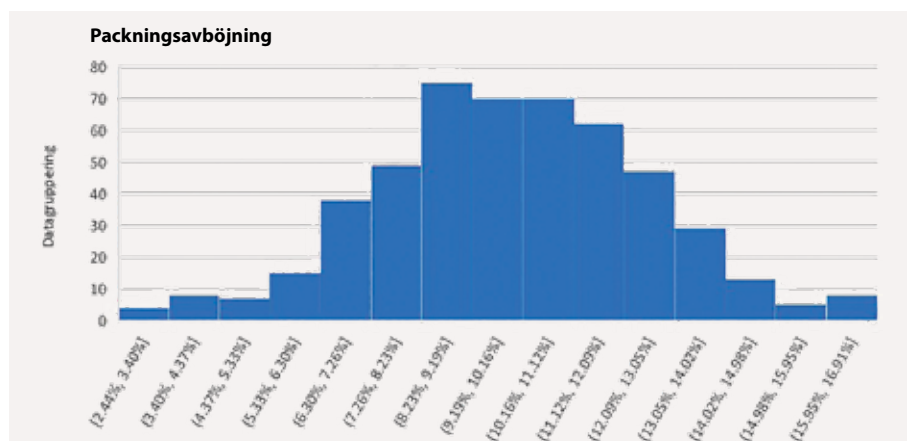


Bild 3. Tjocklekstoleranser för kompressionsstopp.

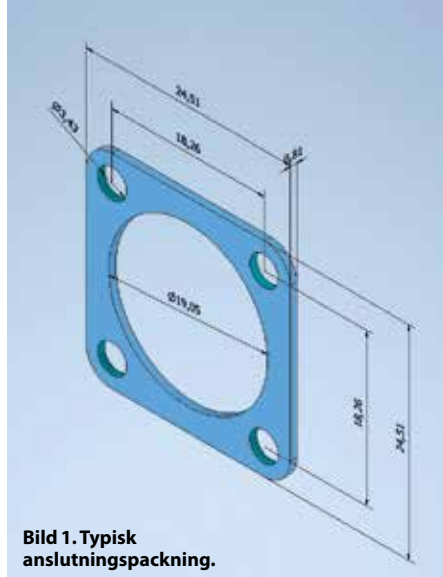


Bild 1. Typisk anslutningspackning.

med yta för att ge en solid metod för att förhindra överavböjning av packningen.

En nominell avböjning på 10% på en 0,81 mm-packning motsvarar en stopphöjd på $0,729 \pm 0,05$ mm. Det finns dock ett annat problem: toleransen för gummimaterialet är $\pm 0,13$ mm, vilket i värsta fall kan resultera i ett avböjningsintervall på -14% till $+27,5\%$. Hur löser du då detta problem?

Om man ska vara helt ärlig inträffar nästan aldrig scenarierna för maximal och minimal tjocklek, så det som behövs är ett verktyg som kan förutsäga och minska risken för att packningen böjs för mycket eller för lite.

Monte Carlo-analys

När det föreligger ett underbestämt problem är det nästan alltid en god idé att starta ett kalkylprogram och applicera lämplig statistisk metod – i detta fall Monte Carlo-analys. Genom att beräkna medelvärdet och standardavvikelsen för kompressionsstoppet och packningstjockleken och sedan köra några hundra simuleringar med slumpmässiga kombinationer av kompressionsstoppets tjocklek och packningstjocklek kan du skatta sannolikheten för över- och underkompression.

Tabellen t.v. är baserad på Chomerics standardplåstoleranser från företagets katalog.

Som visas i bild 2 leder det till problem att avböja en 0,81 mm tjock packning mellan 5–15% av dess tjocklek eftersom toleransen är $\pm 0,13$ mm, eller $\pm 16\%$. Ett liknande problem uppstår med kompressionsstopp, men

Stoppets tjocklek	Stopp-tolerans $\pm$ mm	Tolerans % stoppets tjocklek	SD
0,4	0,05	12,50	0,0083
0,7	0,05	7,14	0,0083
1,0	0,05	5,00	0,0083
1,3	0,05	3,85	0,0083
1,6	0,05	3,13	0,0083
1,9	0,05	2,63	0,0083
2,2	0,05	2,27	0,0083
2,5	0,05	2,00	0,0083
2,8	0,05	1,79	0,0083
3,1	0,05	1,61	0,0083

tack vare tillverkningsprocesser som vanligtvis sker i enlighet med ISO 2768-FH är det inte alls lika uttalat.

För att förtydliga, SD för packningarna och stoppen är toleransen dividerad med 6 i båda fallen, vilket ger 6σ på vardera sidan av medelvärdet. Som tidigare nämnts kräver en nominell avböjning på 10% på en 0,81 mm-packning en kompressionsstoppshöjd på 0,729 mm. Genom att köra Monte Carlo-analysen för 500 simuleringar skapades data i bild 4.

Som synes leder de flesta av simuleringarna till en avböjning inom 5–15% med cirka 1,6% som ligger något över den rekommenderade avböjningen och cirka 3,4% som ligger under den rekommenderade avböjningen. Den högre avböjningen borde egentligen inte vara ett problem i tillämpningen, men detsamma kan inte sägas om den minsta avböjningen, som vid cirka 1% kan visa sig vara problematisk. Som ett resultat av detta uppstår ett behov av att justera antingen kompressionsstoppets höjd eller tolerans, eller båda.

Det visar sig att det inte finns någon perfekt lösning i det här fallet, så att minska stopphöjden något och dra åt toleransen är bästa möjliga åtgärder för att minimera över- och underavböjning. Med kompressionsstoppet på plats leder en nominell höjd för kompressionsstoppet på 0,715 mm med en tolerans på $\pm 0,03$ mm till en konstruktion med en maximal avböjning på cirka 18% och minst 4%. Det kommer fortfarande att förekomma enkla fall med mycket låg kompression (cirka

1% av fallen), men de är sällsynta.

Även i det här scenariot ger en värsta fallsanalys ett avböjningsintervall på -9% till $+27\%$. Men för att återgå till exemplet med den 1,14 mm tjocka packningen, ett kompressionsstopp på 1 mm och en tolerans på 0,03 mm, så kan man (inom rimliga gränser) eliminera all underavböjning och minska sannolikheten för betydande överkomprimering till ett minimum, även om värsta fallanalysen här fortfarande ger ett avböjningsintervall från -4% till $+25\%$.

Negerar toleransproblemet

Som nämndes i början av artikeln är de ganska stora toleranserna förknippade med dessa platta packningar ett resultat av gjutning av stora skivor av råmaterial. Toleransen för det 0,81 mm tjocka gummit är $\pm 0,13$ mm. En specialtillverkad komponent av samma storlek som anslutningspackningen har en tolerans på $\pm 0,08$ mm.

Om vi återgår till 0,81 mm-packningen som en gjuten komponent med flera hålrum får man ett analysintervall för värsta fall på -4% till $+21,5\%$ avböjning. I simuleringar med det nominella stoppet på 0,729 mm och en tolerans på $\pm 0,03$ mm blir sannolikheten för en under- eller överavböjd packning ytterst liten.

Expertis och råd

Även om det är fullt möjligt att tillverka en specialtillverkad del med kompressionsstopp, kan detta visa sig vara dyrt och ofta motiverar inte volymerna den extra kostnaden. Användningen av standardgummiduk som CHO-SEAL är naturligtvis mycket mer kostnadseffektiv, men noggranna beräkningar och förutsägelsemodeller är nödvändiga för att säkerställa bästa möjliga resultat. Parker Chomerics har årtionden av erfarenhet av både kundanpassade lösningar och standardlösningar, vilket hjälper kunderna att hitta det bästa sättet att uppnå ett optimalt resultat för deras specifika tillämpningar.

Även om den här artikeln har fokuserat på platta packningar och kompressionsstopp kan samma Monte Carlo-teknik användas för packningar i ett spår, och fler variabler kan läggas till vid behov om dessa är kritiska konstruktionsparametrar. ■

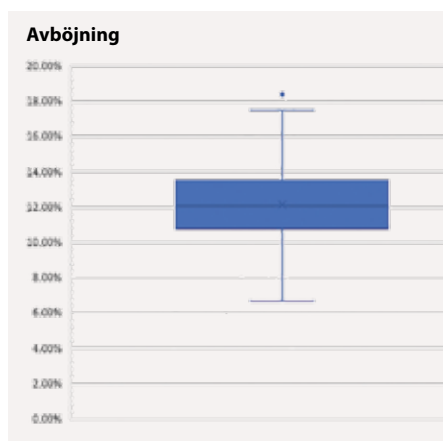


Bild 4. Lådagram samt histogram för nominella mått och toleranser.

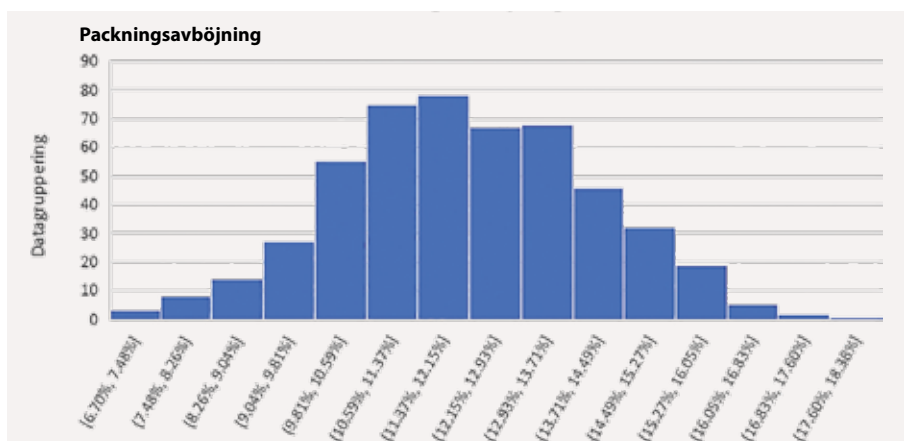


Bild 5. Lådagram samt histogram för 1,14 mm tjock packning.