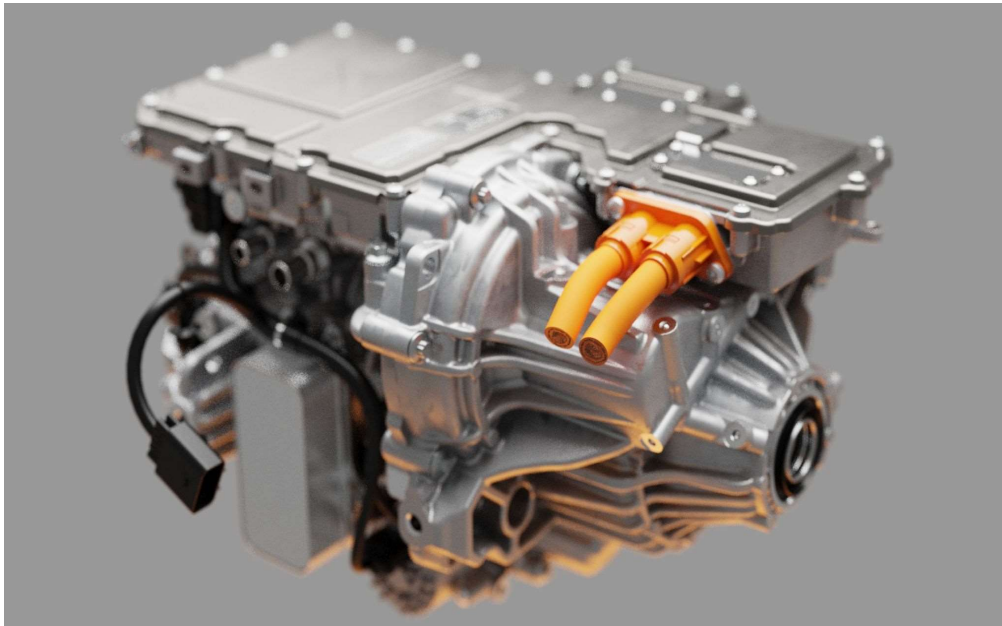




CHALMERS



Mekanisk hållfasthet för lödfogar för kretskortskomponenter

Analys av lödförband på ett kretskort som utsätts för en kombination av termisk och mekanisk utmattnig

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet maskinteknik

Tobias Hilltorp

Johan Persson

INSTITUTIONEN FÖR INDUSTRI OCH MATERIALVETENSKAP

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

**INSTITUTIONEN FÖR INDUSTRI OCH
MATERIALVETENSKAP**

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, Sverige 2025

www.chalmers.se

Förord

Som en avslutande del av våra studier på Maskinteknikprogrammet på Chalmers tekniska högskola var uppgiften att skriva ett examensarbete motsvarande 15 poäng.

Därför hörde gruppen av sig till eldrivlinetillverkaren Infimotion. Initialt fick gruppen två projekt att välja mellan. Efter noga övervägande valde gruppen projektet som innefattar att undersöka hållfasthet på lödfogarna som sitter på företagets inverter.

För handledare och examinator hörde vi av oss till tekniklektor Kjell Melkersson som tackade ja till möjligheten att få vara en del av vår resa mot examen.

Vi vill börja med att tacka Infimotion som givit oss möjligheten att jobba med ett spännande och utmanande projekt hos dem. Vi vill rikta ett särskilt stort tack till vår handledare på företaget Martin Nyman. Martin har varit till stor hjälp under hela projektet och med förståelse och vägledning lett oss ända in i mål.

Vi vill också rikta ett stort tack till vår handledare Kjell Melkersson som följt upp oss under projektet och givit oss tips och råd längs vägen.

Sammanfattning

Detta examensarbete behandlar hållfastheten hos lödfogar som används för att fixera komponenter på kretskort. Fokuset ligger på växelriktaren som ingår i elbilens drivlina. Arbetet är utfört på Infimotion, ett företag som specialiserar sig på eldrivlinor. Idag saknas data kring livslängden på lödfogarna vid termisk och mekanisk påverkan.

Syftet med projektet har varit att analysera hur olika typer av lödförband - THT (Through-hole technology), SMT (Surface mount technology) och BGA (Ball grid array) - påverkas av vibrationer och temperaturväxlingar. Arbetet innefattar både teoretiska beräkningar och simuleringar i FEM programvara för att identifiera spänningsnivåer och identifiera potentiella brottorsaker.

Resultaten som framkommit visar att det är de termiska lasterna som orsakar de högsta spänningarna i lödfogen, särskilt på grund av olika termiska expansionskoefficienter hos materialet för lödfog, kretskort och komponent. Det framkommer även att de lödfogar som uppfyller kraven enligt IPC-A-610 (klass 3) standard, uppvisar en längre spänning än de som inte uppfyller kraven. Detta indikerar på en bättre livslängd och tillförlitlighet om kraven för standarden uppfylls.

Slutsats efter arbetets färdigställning kan dras att den termiska belastningen är den mest kritiska faktorn, och att kombinerad last (termisk + mekanisk) förvärrar skadetillväxten. Som fortsatt arbete förslås att göra vidare beräkningar med noggrannare mesh för att hitta ett resultat som konvergerar. Även räkna noggrannare på utmattning genom att räkna med varierande termisk och mekanisk last samtidigt. Även utföra dragprov och termisk belastning för att validera simuleringsresultaten.

Abstract

This thesis deals with the mechanical properties of solder joints used to fix components on circuit boards. The focus is on the inverter that is part of electric vehicle powertrains. The work is performed at Infimotion, a company specializing in electric powertrains. Today, there is a lack of data on the service life of solder joints under thermal and mechanical stress.

The purpose of the project has been to analyze how different types of solder joints - THT (Through-hole technology), SMT (Surface mount technology) and BGA (Ball grid array) - are affected by vibrations and temperature changes. The work includes both theoretical calculations and simulations in FEM software to identify stress levels and identify potential causes of failure.

The results obtained show that it is the thermal loads that cause the highest stresses in the solder joint, especially due to different thermal expansion coefficients of the material for solder joint, circuit board and component. It also appears that the solder joints that meet the requirements of the IPC-A-610 (Class 3) standard, exhibit a lower stress than those that do not meet the requirements. This indicates a better lifetime and reliability if the requirements of the standard are met.

It can be concluded after the completion of the work that the thermal load is the most critical factor, and that combined loads (thermal + mechanical) exacerbate damage growth.

As further work, it is suggested to do further calculations with more accurate mesh to find a result that converges. Also calculate more accurately on fatigue by calculating with varying thermal load and mechanical load together. Also perform tensile tests and thermal load to validate the simulation results.

Innehållsförteckning

1. Inledning.....	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Syfte	1
1.3 Avgränsningar	2
1.4 Precisering av frågeställning	2
2. Metod	3
3. Teoretisk referensram	4
3.1 Lödmetoder	4
3.2 Standard och vanliga fel.....	6
3.3 Inverter	10
4. Resultat	11
4.1 CAD-modell.....	11
Ytmonterad.....	11
Genom-hålmonterad.....	12
BGA	13
4.2 CAD-modeller.....	13
4.3 ANSYS-modellering	13
4.4 Ansys-resultat.....	15
4.5 Sammanställning resultat och beräkning av livslängd	28
5. Slutsatser	31
6. Diskussion och Fortsatt arbete	32
7.Källor.....	34
Bilagor	36
Bilaga A CAD	36
Bilaga B.....	44

Beteckningar och ordlista

Catia= Cad programvara där man kan modellera 3D objekt.

FEM= Finita elementmetoden, en metod för att beräkna spänningar genom att dela upp en detalj i många mindre delar.

Ansys= Analysprogram som använder sig utav Finita Element Metoden för att beräkna bland annat uppkomna spännigar.

THT= Through hole technology, i denna rapport kommer det även benämnas som genom hål montering.

SMT= Surface mount array, i denna rapport kommer det även att benämnas som ytmontering.

BGA= Ball grid array, en typ av ytmontering.

PCB= Printed circuit board. Ett kretskort som tillverkas efter specifika behov.

σ N-kurvor = Wöhlerkurvor, d.v.s, spänning som funktion av cykler diagram.

σ N-kurvor= Wöhlerkurvor, d.v.s, töjning som funktion av cykler diagram.

Logikkrets= Elektrisk komponent i invertern.

Mesh= Ett nätverk av noder och element som används i finita elementmetoden.

FEM= Finita elementmetoden, en metod för att beräkna hållfasthet genom att dela upp problemet i många mindre delar.

1. Inledning

Denna rapport avhandlar examensarbetet som gjordes hos drivlinetillverkaren Infimotion. Målet med projektet var att ta fram ett sätt att beräkna hållfastheten hos lödförband på kretskort.

1.1 Bakgrund

Infimotion är ett företag som specialiserar sig på att ta fram och tillverka elektriska drivlinor. I de elektriska drivlinorna ingår det en inverter eller växelriktare som den också kallas. Dess uppgift är att konvertera likströmmen som kommer från batterierna till växelström som elmotorerna drivs av. Invertern har också som uppgift att reglera strömmen som matas ut till elmotorerna.

När elektricitet flödar genom komponenter utvecklas värme. Värmen medför att materialen expanderar vilket i sin tur ger upphov till spänningar. Det uppkommer också vibrationer när bilen kör vilket sin tur leder till varierande spänningar. Det är kombinationen av dessa två fenomen som i slutändan riskerar att utmatta lödfogar och att de går sönder. Idag har Infimotion Sverige begränsade data på vilka spänningar som uppkommer och har därför inte möjlighet att räkna på livslängden.

1.2 Syfte

Syftet med projektet är att undersöka och analysera olika typer av lödförband som används på kretskort (PCBs), med särskilt fokus på deras mekaniska- och termiska hållfasthet. Kretskorten sitter i invertern som är en komponent till en elbilsmotor. På grund av vibrationer och termiska laster som uppstår under drift utsätts lödförbanden för utmattning, vilket riskerar att påverka deras funktion och livslängd. Uppdraget är att beräkna livslängd på lödförbanden och förslå förbättringar som kan göras för att nå de krav som ställs på livslängden.

1.3 Avgränsningar

Med anledning av begränsade resurser i form av tid och även utifrån en kostnadsaspekt kommer inte några utförliga tester att göras. Varken vibrationsprover eller termiska prover. Detta då det hade tagit mycket tid och det blir dyrt att beställa denna tjänst av ett annat företag. Även avgränsat gällande beräkningarna, har krypning uteslutits på grund av bristande materialdata.

1.4 Precisering av frågeställning

- Hur påverkar de termiska lasterna och vibrationerna livslängden på kretskortets komponenter?
- Är det termiska eller mekaniska utmattningar som är den drivande faktorn till felutfall?
- Hur varierar livslängden för olika typer av lödförband?

2. Metod

Projektet inleddes med en informationsinsamling om lödförband på kretskort, där industristandarder och riktlinjer undersöktes. Även studier på hur lödningens resultat påverkar kretskorten och deras komponenters hållfasthet undersöktes. Fokus kom att ligga på specifika krav för kretskort och hur komponenter löds fast för att uppnå mekanisk och elektrisk tillförlitlighet. Även beräkningsmodeller studerades för att få en djupare förståelse vilka parametrar som har en avgörande betydelse för resultatet och lödfogarnas livslängd.

Därefter modelleras lödförband i CAD-program och deras mekaniska egenskaper simuleras i FEM-program. Här kom de olika varianterna av lödfogar som var framtagna i tidigare steg att jämföras och utvärderas.

Resultaten från simuleringarna ledde fram till slutsatser om livslängden för olika typer av lödfogar samt vilka förbättringar som går att hitta.

3. Teoretisk referensram

3.1 Lödmetoder

När komponenter monteras på en PCB (kretskort) använder man sig av lödning som infästningsmetod. Lödning kan göras på olika sätt, detta kapitel kommer fokusera på de vanligaste kategorierna och de 3 vanligaste metoderna. Det kommer även beskrivas vilka krav som finns på lödförbanden.

De finns två kategorier av lödning, THT (hålmonteringsteknik) och SMT (ytmonteringsteknik).

Hålmontering innebär att man för komponentens "ben" genom ett hål i kretskortet och fixerar med lödning från undersidan. Ytmontering innebär som namnet antyder att komponenten monteras på ytan, alltså fäst komponentens "ben" direkt på kortets yta.

Vilken typ lödning som används beror på en rad olika faktorer:

Mekanisk hållfasthet: Hålmontering ger bra mekanisk hållfasthet, främst beroende på att fästytan blir i hela hålet och på undersidan. Ytmontering får bara fästyta ovanpå vilket gör att den har en lägre mekanisk hållfasthet.

Tillverkningskostnad och effektivitet: Vid ytmontering kan man placera fler komponenter på en yta än vad man kan vid hålmontering. Detta leder till en snabbare produktion och ökad effektivitet. Det gör också att arbetskostnaden blir lägre med detta alternativ.

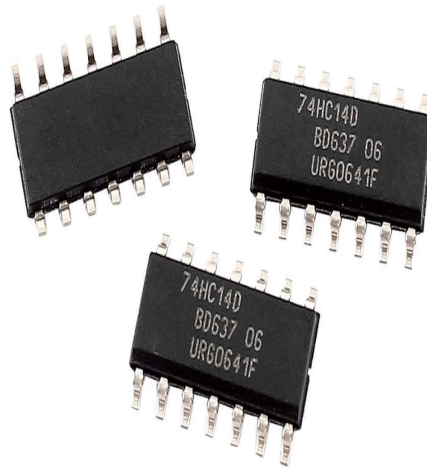
Elektriska egenskaper:

Båda typer av montering ger goda elektriska egenskaper men THT anses ändå generellt vara bättre. Det hänger ihop med att den har bäst mekaniska egenskaper och är därför mer tillförlitlig.

Design: Även designen på komponenten har betydelse för vilken typ av montering som används. Exempelvis en diod, se Figur 1 med långa smala ben hålmonteras vanligen. Mindre komponenter med breda ben med "fötter" ytmonteras vanligen, se Figur 2. (*Ytmonterad VS Genomgående Hål: För- Och Nackdelar*, u.å.-b), (Lau, 2024).



Figur 1 Illustration av THT komponent, i detta fall en diod



Figur 2 Illustration av SMT komponenter, i detta fall logikkretsar

Det finns som tidigare nämnts tre standardmetoder för att montera komponenter. Dessa är: våglödning, selektiv lödning och reflow. De två förstnämnda ingår i kategorin THT och reflow ingår i SMT.

Vid våglödning för man komponentens "ben" genom hålen i kretskortet och sedan får kretskortet passera över ett bad med lod. Det genereras en våg i badet och på så sätt löds de utstickande "benen" fast i kretskortet medan överblivet lod faller tillbaka ner i badet.

Metoden är snabb och lämpar sig väl vid massproduktion.

Selektiv lödning ingår precis som våglödning i kategorin THT, men i stället för att använda sig av lödbad används en lodpenna som fördelar smält lod i enlighet med ett förprogrammerat mönster. Detta gör att bara de områden som ska lödas exponeras för lodet, och processen blir mer exakt men tar längre tid.

Vid SMT används en metod som kallas reflow. Denna metod använder sig av en ugn som värms upp. Lodet appliceras i fast form som en pasta på fästpunkten och sedan placeras komponenten ovanpå. Sedan förs kretskortet in i ugnen där lodet smälter och lödförbandet bildas. Denna teknik blir allt mer dominerande då man kommer ifrån behovet av att borra hål i kretskortet. I denna metod ingår även BGA (Ball Grid Array). Det som är unikt med BGA är att fästpunkterna sitter i ett rutmönster under komponenten och att även själva komponenten kommer med lödtenn på sig. Det finns alltså lödmaterial både på kretskortet och på komponenten från början.

Vid samtliga lödningsprocesser används kväve för att ersätta luften i omgivningen eller i ugnen. Detta är för att förhindra oxidation som leder till att lödförbandets kvalitet försämras.

(Admin, 2024), (Copco, 2024),(Copco, u.å)

3.2 Standard och vanliga fel

För att säkerställa att kvaliteten på lödfogarna och uppnå hög tillförlitlighet så använder man sig av en standard. Denna standard heter IPC-A-610. Den beskriver krav som lödfogarna ska uppnå för att bli godkända. Som beskrivits tidigare finns två olika typer av montering, hålmontering och ytmontering. Eftersom det är två olika tekniker finns också olika krav för dem.

Det finns 3 klasser inom standarden. Klass 1 representerar produkter där det huvudsakliga kravet är funktionalitet. I klass 2 ingår produkter som kräver en kontinuerlig prestanda och en längre livslängd, men där avbrott inte är kritiskt. I den tredje gruppen, klass 3, finns produkter med höga krav på prestanda och tillförlitlighet. Driftstopp tolereras inte och funktionskraven är kritiska.

Den klass som används vid lödning av kretskort på Infimotion är klass 3. Nedan listas vanliga fel som kan uppkomma vid lödning.

Exposed Basis Metal- Detta innebär att basmaterialet, alltså materialet som lödfogen fästs på för lödningen exponeras för luften.

Pin Holes/Blow Holes- Små hål som kan uppkomma i lödfogarna.

Reflow of Solder Paste- Detta innebär att smältning av lödmaterialet är inkomplett.

Nonwetting- Innebär att lödmaterialet inte bundits med materialet som det ska fästa vid.

Cold/Rosin Connection- Liknar icke-vätning (nonwetting) men kännetecknas av ett gråaktigt, poröst utseende.

Dewetting- Uppstår när smält lod täcker en yta och sedan drar ihop sig. Detta resulterar i oregelbundna högar av lod.

Solder Balls- Små bollar som kan bildas vid lödning.

Bridging- När material flyter ut och sammankopplar två kontakter som inte ska ha kontakt.

Solder Webbing/Splashes- Innebär material som skvätt och hamnar på fel ställe.

Disturbed Solder- Strängar som uppkommer vid nedkylning, vilket resulterar i en ojämn yta.

Fractured Solder- När det uppkommer en spricka i lödfogen.

Solder Projections- När lödfogen breder ut sig för mycket och överskrider "säkerhetsavståndet" mellan två komponenter.

Lead-Free Fillet Lift- Detta är när lödfogen "böjer sig" och lyfter från sin infästning.

Lead-Free Hot Tear/Shrink Hole- Det bildas ett hål/krater i lödfogen.

(IPC-A-610, 2017)

Felmoder:

Lödfogar kan gå sönder på flera olika sätt men de två huvudsakliga är antingen mekaniska belastningar eller termiska belastningar. I den mekaniska kan antingen spänningen bli för stor så plastisk deformation uppstår hela vägen till att lödfogen går sönder. Detta är rätt ovanligt för just fordon då det inte uppkommer så stora spänningar, utan vanligare är att vibrationer utmattar materialet. Den utmattningen är en högfrekvensutmattning med många cykler innan brott sker. Termiska felmoderna likt mekaniska delas in i två olika typer: krypning och en termisk utmattning. Både dessa kan förekomma i fordon.

Termiska:

Krypning är extra kritiskt när materialet överskrider 50% av dess smältpunkt och belastats med en mekanisk spänning. Då uppstår det små rörelser i mikrostrukturen av materialet på grund av värmen och atomers rörelse. Dessa rörelser leder till att det bildas små sprickor i materialet. När atomer rör på sig och byter plats så kan det bli en plats tom som sedan tidigare varit fylld av en atom, på så sätt blir materialet lokalt svagare där. För att krypning ska börja ske behövs en aktiveringsenergi uppnås. Detta innebär att krypning inte börjar ske direkt utan börja ske när aktiveringsenergin är uppfylld. Krypningshastigheten ökar exponentiellt mot temperaturen, vilket leder till att skadan som krypning åstadkommer ökar exponentiellt med temperaturen.

Den andra typen är termisk utmattning som orsakas av spänningar som uppkommer då de olika materialen utvidgas olika mycket vid uppvärmning. Oftast är denna kritisk när materialet har små temperaturskillnader vid lägre temperaturer med en högfrekvens mellan cyklerna, men det kan även vara små skillnader i temperatur när en komponent har kommit upp till arbetstemperatur. Det kan även vara skadligt när temperaturen ökar mycket och det uppkommer höga spänningar på grund av att de olika material utvidgas olika. Livslängden kan man beräkna med hjälp av σ -N (eller töjning i ϵ -N)-diagram som funktion av antal cykler.

Vibrationer:

Vibrationer som uppkommer när bilar framförs, skakar invertern och dess komponenter. När dessa vibrationer skakar komponenterna uppkommer det spänningar i lödfogen som försöker hålla fast komponenten till kretskortet. När dessa små spänningar uppkommer så kan det leda till utmattning. Denna typ av utmattning är mera kritisk på större komponenter som har en högre massa, då det leder till en högre spänning. Även för denna typ av spänning kan σ -N diagram eller ϵ -N diagram användas för att beräkna livslängd. Dessa vibrationer skadar materialet lite om materialet är perfekt från början, men blir desto mera skadligt om det finns eller uppkommer små sprickor.

Kombination och vårt fall:

Kombinerar man både typerna av vibrationer och termisk belastning får man fram ett samband som förkortar livslängden snabbare än de både enskilt. Generellt kan man se det som att den termiska belastningen skapar sprickor efter ett visst antal cykler som sedan växer med hjälp av både vibrationer och termiska belastningen. Så man kan säga att krypning startar den skadliga processen som sedan de 3 olika tidigare nämnda typerna hjälper till att accelerera sprickans tillväxt till lödfogen brister (An m.fl., 2018).

Lödmaterial:

Lödmaterialet som används och simuleras på våra lödfogar är SAC305 som är en tenn-, koppar- och silverblandning.

Det finns olika typer av lödmaterial eller legeringar av tenn som kan användas. De har lite olika egenskaper beroende på hur mycket man kan inkludera av olika ämnen. Huvudämnet, som är tenn, legerar man oftast med silver och koppar. Innan det blev förbjudet var det väldigt vanligt att blanda in bly men på grund av deras negativa hälsoeffekter blev det förbjudet att använda i vissa produkter varför det används mindre och mindre. Enligt Lin et al. (2010) har blyfria material så som SAC305 en högre termisk hållfasthet i jämförelse med bly-tenn lödmaterial men som i gengäld har bättre mekanisk hållfasthet. Om man har en konstant temperatur och utsätter lödfogen för mestadels mekaniska belastningar är bly att föredra, men om det är mycket värmecykler är blyfritt bättre. Syed (2004b) visar skillnaden på SAC405 och SAC305 och skillnaden på dessa två legeringar är att SAC405 har 4% silver medan SAC305 har 3%. Han menar på att silver borde göra materialet starkare d.v.s hållfastheten öka, men hans test visade att det var liten till ingen skillnad på prestandan mellan de två materialen. Den största skillnaden är priset då den som innehåller mera silver blir dyrare, så SAC305 är en bra kompromiss mellan pris och prestanda för de flesta användningsområden (*Comparing SAC305 and SAC405 Solder Application*, u.å.). En annan legering som används är tenn-kopparlegering. Dess stora fördel är att de har en lägre prispunkt och har en lite lägre smältpunkt än silverbaserade legeringar. Men den har en sämre hållfasthet både mot mekaniska och termiska belastningar Sufyan (2024b).

Lite enkelt om man ska se till de blyfria materialen, desto mera silver desto starkare, dyrare och högre smältpunkt.

Beräkningar:

Materialdata för de olika materialen behövs både till handberäkningar och ANSYS-beräkningar. Från tidigare teori och data från Infimotion har följande material erhållits. Benet till komponenten är gjort av koppar, lödfogen är av ett material som kallas SAC305 och kretskortet är gjort av ett material som kallas för FR4. Materialparametrarna som används är följande; Elasticitets moduls (E), Poisson's tal (ν), Värmeledningsförmåga (K), Längutvidgningskoefficient (CTE).

Materialdata för SAC305:

$$E = 63 \text{ GPa}, \nu = 0,27, K = 71,8 \text{ W/m} \cdot \text{k}, \text{CTE} = 2,4 \cdot 10^{-6} \text{ 1/}^\circ\text{C}$$

Materialdata för FR4:

$$E = 20 \text{ GPa}, \nu = 0,14, K = 0,3 \text{ W/m} \cdot \text{k}, \text{CTE} = 1,5 \cdot 10^{-5} \text{ 1/}^\circ\text{C}$$

Materialdata för Koppar:

$$E = 110 \text{ GPa}, \nu = 0,34, K = 40,1 \text{ W/m} \cdot \text{k}, \text{CTE} = 1,8 \cdot 10^{-5} \text{ 1/}^\circ\text{C}$$

Eftersom de komponenterna som beräkningarna sker på kommer vara +130 grader, så kommer krypning vara en av de främsta anledningarna till att lödfogen går sönder. Krypningen och dess skada kan beräknas på lite olika sätt med olika infallsvinklar. Här

kommer Garafalo-modellen som användas för att räkna ut livslängden på grund av krypningen. (Syed, 2004a)

$$\frac{d\varepsilon}{dt} = C1[\sinh(C2\sigma)]^{C3} \exp\left(\frac{C4}{T}\right) \quad (1)$$

Här är C1 en faktor för materialets känslighet för krypning och C2 beskriver hur mycket krypningen påverkas av spänningen i materialet. C3 är en konstant som beskriver hur mycket material ökar sin krypning vid spänningar. C4 är aktiveringsenergin som krävs för att krypning ska ske och T är temperaturen i Kelvin.

Där man får fram strain-rate dvs kryphastigheten, vilket är ett mått på hur mycket som materialet kryper (plastiskt deformeras) under en viss last. Från denna formel kan man med hjälp av krypduktilitet beräkna livslängden i antalet cykler. Krypduktilitet är ett mått på hur mycket ett material kan krypa innan brott sker.

För att sedan kunna få ut en livslängd används Coffin-Manson ekvationen som ser ut på följande sätt

$$N = C \cdot \left(\frac{d\varepsilon}{dt}\right)^{-k} \quad (2)$$

Här är N är antal cykler, C och k är materialkonstanter samt $\frac{d\varepsilon}{dt}$ är kryphastigheten.

För det andra fallet av termisk-utmattning, d.v.s. termisk utvidgning av två olika material, kan denna formel användas för att estimeras spänningen:

$$\sigma = E \cdot \Delta CTE \cdot T \quad (3)$$

Detta beräkningsfall gäller när två plana ytor möts med två olika stora längdutvidningskoefficienter (CTE).

Testning:

Det finns flera olika sätt att testa och verifiera termiska och mekaniska skador på lödfogar (Singularity Engineering LLC, 2020). Ett av sätten är att mäta elektrisk konduktivitet genom kretsen. Fördelen med detta är att man kan lätt övervaka många komponenter samtidigt och se när någon går sönder då den inte leder ström längre. Denna metod kan endast användas då lödfogens syfte är att leda ström. Resistansen i kretsen ökar ju mer skadad lödfogen blir. På så sätt kan man även uppskatta skadenivån genom att övervaka ledningsförmågan. Detta kan ses som ju större skada ju mindre area har elektronerna att röra sig igenom. Det går att även använda sig av kameror/mikroskop för att visuellt se skadorna i materialet. Fördelen med detta är att man kan ganska exakt uppskatta skadan, men att det är svårt att hålla koll på flera komponenter samtidigt. Denna metod är bra om man vet om vilken av komponenterna som är kritisk. Sen kan man rent mekaniskt också testa hur stark lödfogen är genom olika typer av dragtester. För att i en testmiljö komma fram till hur dessa skador uppkommer använder man sig av olika metoder. För vibrationer använder man sig av en så kallad skakbänk. Där fäster man kretskortet med dess komponenter och skakar riggen tills lödfogen går sönder. I

skakbänken kan man ändra frekvens och intensitet av skakningarna för att kunna testa på just det användningsområdet man ska använda lödfogen i och köra ett testprogram som är så realistiskt som möjligt. Hur dessa olika typerna av tester genomförs styrs av standarden IPC-A-610. Det finns olika standarder för de olika typerna av lödfogar: SMT, THT och BGA.

För termisk belastning använder man sig av värmekammare för att testa den termiska hållfastheten. I den kan man köra cykler vid olika temperaturer och under olika. Man kan köra olika program för att få fram ett resultat. Detta är en tidskrävande process som oftast tar lång tid att genomföra då det oftast krävs många cykler.

3.3 Inverter

För att motorerna i en elbil ska fungera krävs det att de matas med växelström. Men batterierna som sitter i en bil levererar likström. För att åtgärda detta använder man sig av en inverter. Inverters uppgift är att konvertera likström (DC) till växelström (AC). För att förstå hur detta fungerar behövs det först klaras upp vad likström och växelström är och hur de skiljer sig åt.

Likström är ström som flödar i en riktning. Konventionellt brukar man säga att strömmen flödar från pluspolen till minuspolen.

Växelström å andra sidan, som man kan höra på namnet, byter riktning på strömmen med en viss frekvens.

När man omvandlar från likström till växelström görs detta genom att sammankoppla elektriska komponenter. Transformationen görs i olika steg.

Oscillation och switchning: Transistorer används för att snabbt slå på och av likströmmen vilket skapar en pulserande ström, i form av en fyrkantsvåg. Fortfarande i likström och spänningen är positiv.

Pulsvågformskapande: Detta steg använder även här transistorer som bildar en så kallad H-brygga. Denna gör att vågen som nu har ett fyrkantsmönster och spänningen går mellan plus och minus. Efter detta steg fås alltså växelström.

Filtrering och modifikation: LC-filer (kombination av induktans och kapacitans) används för att jämna ut fyrkantsvågen så det i stället blir en sinusvåg och därmed efterlikna ideal växelström.

Transformerering: I detta steg används en transformator för att justera spänningen till önskad nivå.

(*Mastering Inverter Basics: How Does an Inverter Work?*, u.å.)

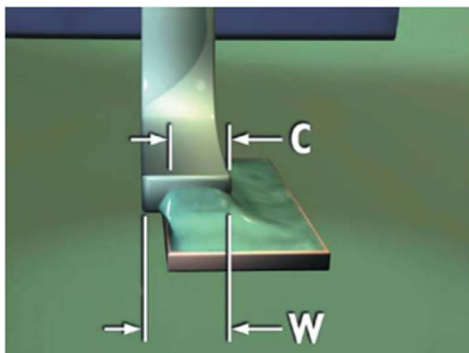
4. Resultat

4.1 CAD-modell

För att kunna göra en analys i Ansys av lödfogarna krävs en 3D modell som representerar komponenten och lödfogen. Detta gjordes i Cad programmet Catia. För att få en rättvis jämförelse av de olika lödmetoderna användes samma tjocklek på ben för komponenterna i cad-modellerna. I det här fallet har ben använts med cirkulärt tvärsnitt med diametern 1 mm.

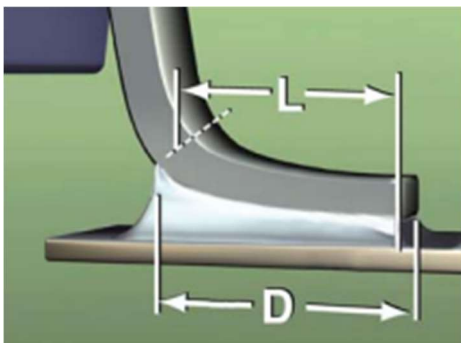
Ytmonterad

CAD-modellen för ytmonterad lödning representerar en komponent med bentypen “platt måsvinge”. Namnet kommer från dess karaktäristiska form som liknar just en måsvinge. För att denna lödfog ska vara godkänd enligt klass 3, krävs att ett antal kriterier är uppfyllda. Det första är att minst 75% av komponenten ska vara i kontakt med lödfogen sett från benets kant, dvs $C/W \geq 0.75$ krävs, enligt Figur 3: .



Figur 3: Ytmonterad lödfog, bredd. (IPC, 2017)

Det andra kravet är att hela “längden” på benet ska vara täckt med lödfog, se Figur 4:



Figur 4: Ytmonterad lödfog, längd. (IPC, 2017)

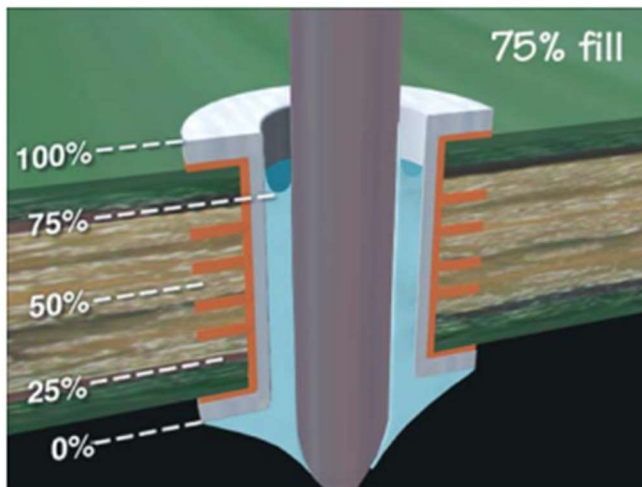
Det finns fler krav såsom vettning, vilket nämnts i teoridelen. Men detta krav bortses ifrån då det är svårt att simulera. Istället sätts kontakten som homogen mellan de olika delarna i alla simuleringar, detta görs genom kontaktypen bunden (bonded).

Genom-hålmonterad

Denna cad modell representerar en komponent som monteras genom hål. I modellen används ett ben med cirkulärt tvärsnitt.

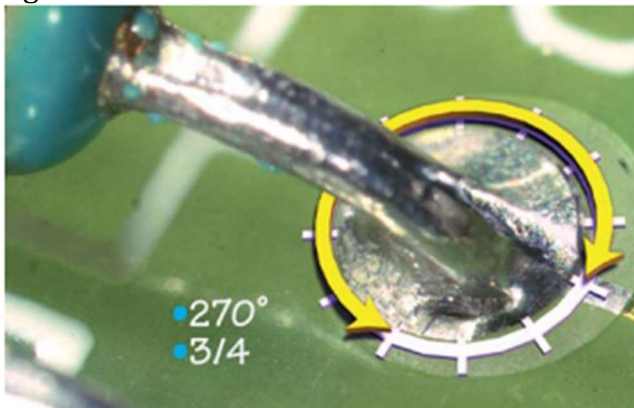
För att lödfogen ska bli godkänd enligt klass 3 krävs även här att ett antal kriterier är uppfyllda.

Minst 75% av hålet ska vara fyllt med lödfog. se Figur 5.



Figur 5: Genom-hålmonterad, fyllnad. (IPC, 2017)

Dessutom krävs att lödfogen går runt kontaktytan med minst $\frac{3}{4}$ av omkretsen dvs 270° , se Figur 6.



Figur 6 Genom-hålmonterad, kontaktyta. (IPC, 2017)

Som vid tidigare lödmetod finns fler krav som är svåra att simulera. Därför är det bara ovanstående krav som tagits i beaktning vid modellerandet av lödfogen. (IPC, 2017)

BGA

Denna typ av modell skiljer sig från de tidigare 2 på så vis att den inte involverar några ben. Istället sitter lödbollen mellan två plana ytor.

Kravet för lödmetoden är att lödbollen har bra kontakt med PCB och komponenten.
(IPC, 2017)

4.2 CAD-modeller

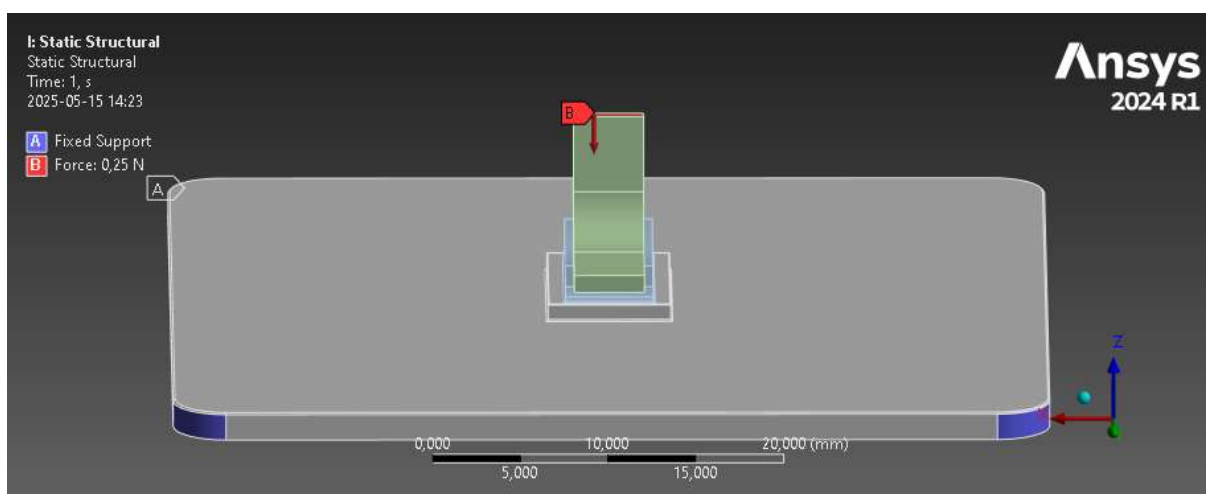
För framtagna cad modeller se bilaga A.

4.3 ANSYS-modellering

För att möjliggöra en rättvis jämförelse mellan de olika typerna av lödfogar har identiska randvillkor tillämpats i samtliga fall. Den yttre lasten på 0,25 N, som verkar nedåt på komponentbenet se Figur 7. Kraften har antagits utifrån en uppskattad komponentvikt på 5 gram samt en maximal acceleration på 5g. Enligt sambandet:

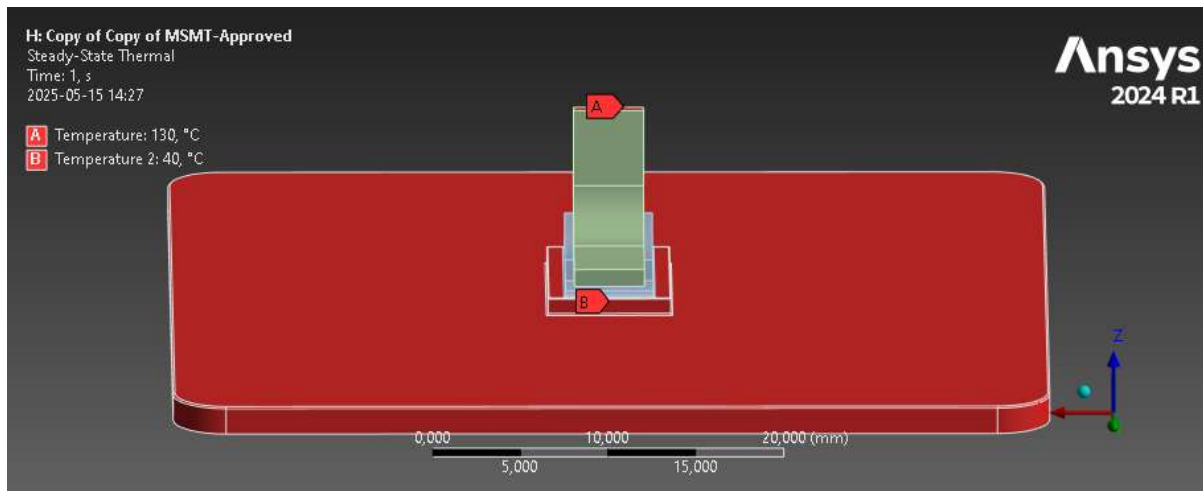
$$Kraft = Massa \cdot Acceleration \quad (4)$$

Erhålls därmed en kraft på 0,25 N.



Figur 7 Randvillkor för SMT

Utöver den mekaniska belastningen har även en temperaturökning beaktats i simuleringen i ANSYS. En temperatur på 130 °C har applicerats på toppen av komponentbenet, medan själva kretskortet (PCB) antas hålla en temperatur på 40 °C enligt Figur 8. Start- och omgivningstemperaturen uppskattas till 22 °C.



Figur 8: Randvilkor för SMT, temperatur

Alla kretskort är fixerade i hörnen. Se bilder nedan för en tydligare översikt av modelluppställningar. Se figur Figur 7, Figur 17 och Figur 24.

Som kontakt mellan ytorna har kontakttypen bunden (bonded) använts. Det innebär att programmet hanterar ytorna som sammansatta, likt en lödfog.

För att möjliggöra en beräkningsbar analys har flera förenklande antaganden gjorts.

Det första antagandet gäller den acceleration som uppstår till följd av vibrationer. I denna studie har en konstant acceleration på 5g använts, vilket motsvarar ett värsta fall scenario, exempelvis när ett fordon kör ned i ett potthål. I verkligheten varierar dock både vibrationernas frekvens och acceleration kontinuerligt, vilket innebär att antagandet om en konstant acceleration är en förenkling som möjliggör jämförbara resultat.

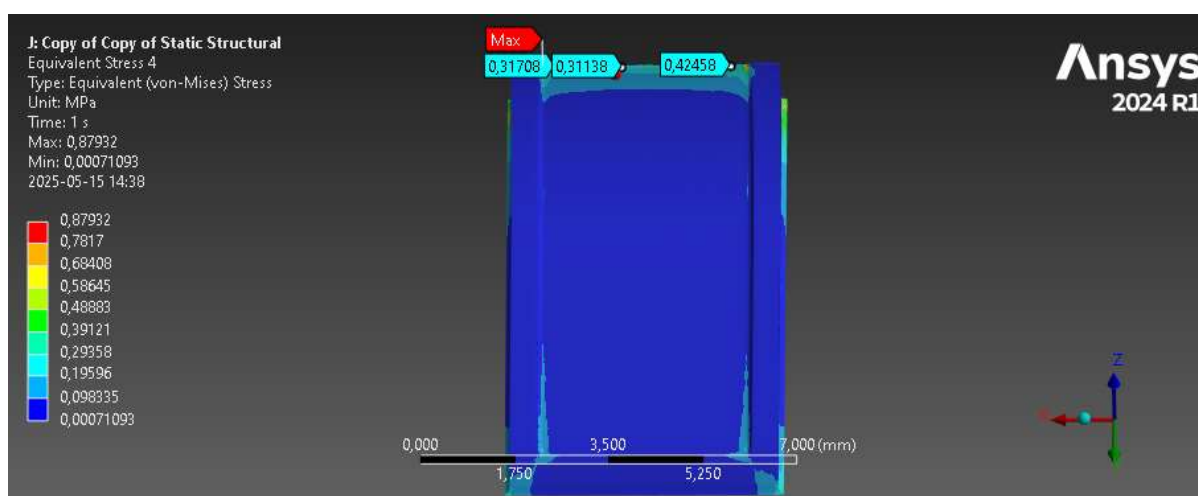
Ett andra antagande rör kraftens riktning. I simuleringen har kraften applicerats vertikalt, riktad nedåt mot toppen av komponentbenet. Detta speglar inte alla realistiska fall, eftersom fordonet kan befinna sig i lutning och lödfogarna inte alltid är orienterade horisontellt i förhållande till tyngdkraften och accelerationen. Trots detta har en vertikal kraft valts för att skapa en enhetlig jämförelse mellan de olika lödfogtyperna.

Ett tredje antagande är att temperaturen är konstant under belastningen. Komponenten antas ha en konstant temperatur på 130 °C, medan PCB:n hålls vid 40 °C. I praktiken varierar temperaturen över tid och påverkas av flera faktorer, framför allt den effektförbrukning som genererar värme. Detta antagande är därför en idealisering, men nödvändig för att uppnå stabila och jämförbara simuleringsförhållanden.

4.4 Ansys-resultat

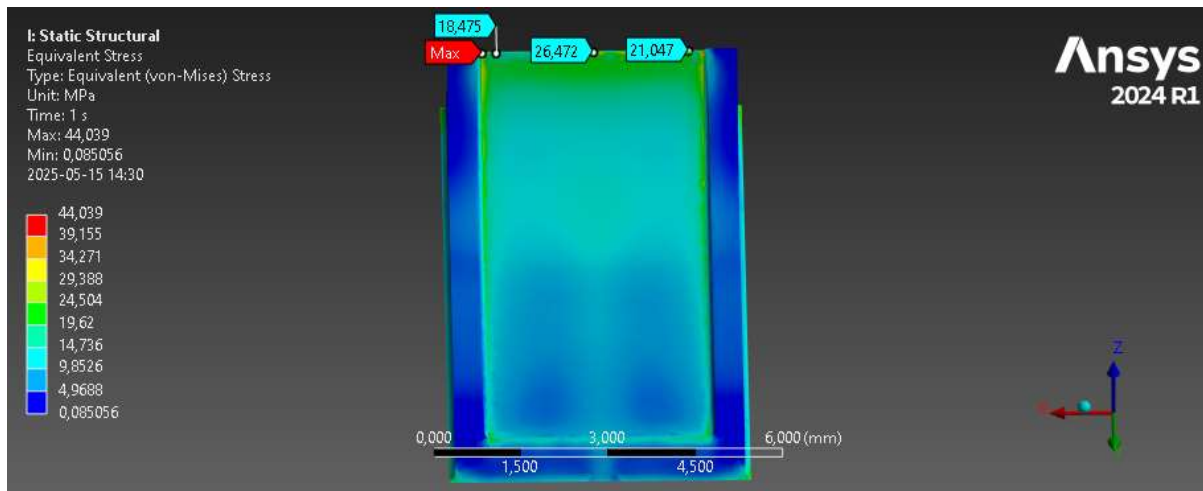
SMT-godkänd lödfog

De resultat som presenteras i simuleringarna och visualiseras i bilderna anses ligga inom rimliga och förväntade gränser. Vid första analysen av lödfogen som är korrekt utförd enligt gällande standard ser man att spänningen hamnar inom intervallet 0,3 till 0,8 MPa se Figur 9. Denna spänningsnivå uppstår i det område där tvärsnittsarean är som minst – det vill säga längst upp i själva lödfogen. Detta är logiskt och förväntat, eftersom det är där geometrin naturligt skapar en svag punkt, vilket ofta blir en kritisk plats för spänningskoncentrationer. Att spänningen är som högst där stärker trovärdigheten i resultaten, eftersom det överensstämmer med teoretisk förväntan.



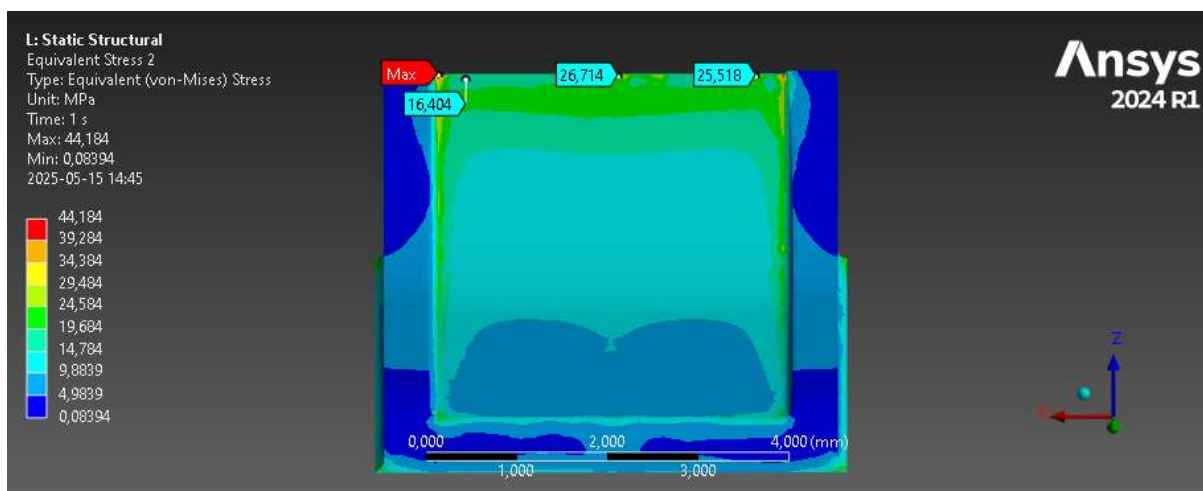
Figur 9 Spänningar för mekanisk last SMT Godkänd

När man därefter analyserar de spänningar som uppstår på grund av termisk expansion, det vill säga de spänningar som genereras av temperaturförändringar, observeras ett värde omkring 44 MPa se Figur 10. Denna spänningsnivå betraktas som potentiellt utmattande. Om man jämför detta resultat med en analytisk beräkning med ekvation [3], där man använder materialens respektive värmeutvidgningskoefficienter och de aktuella temperaturförändringarna, hamnar den teoretiskt beräknade spänningen på cirka 43 MPa. Detta visar att simuleringen ger ett mycket trovärdigt resultat som bekräftas av teori.



Figur 10 Spänningar för termisk last SMT Godkänd

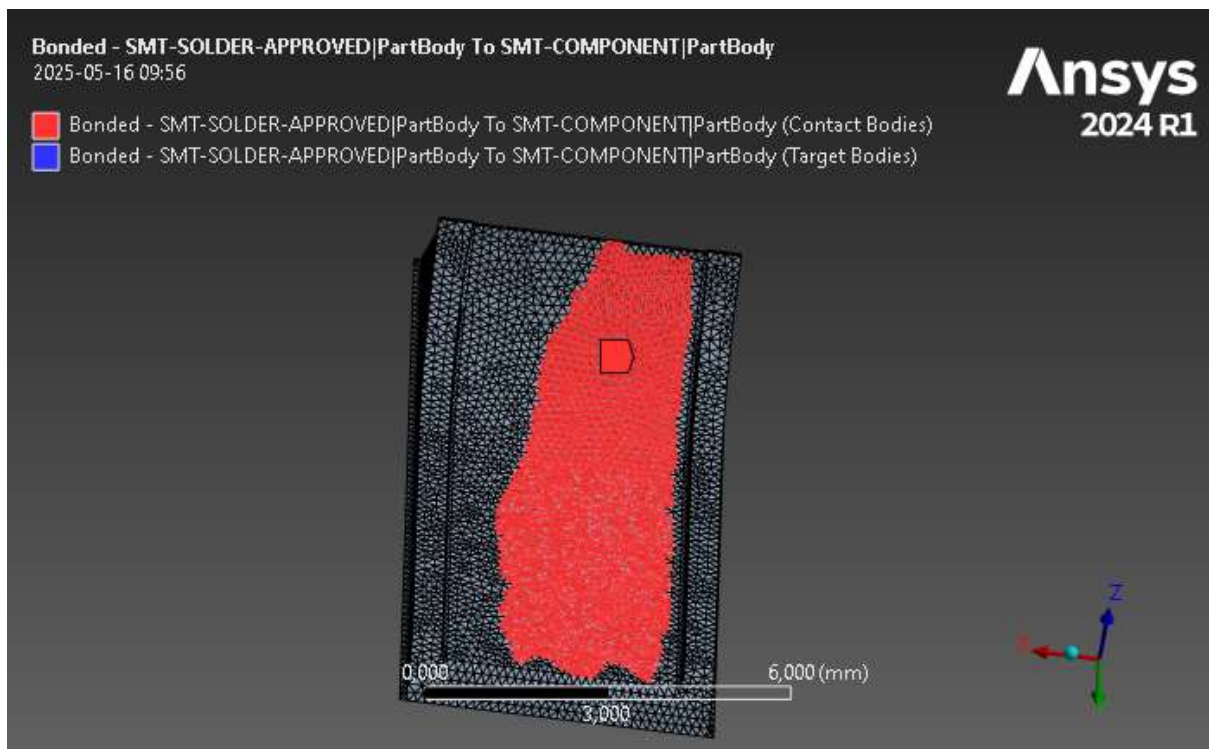
Vid kombinerad belastning där både mekaniska krafter och termiska expansioner verkar samtidigt visar simuleringen enligt Figur 11 att den totala spänningen i lödfogen ligger nära det värde som uppstår vid enbart termisk belastning. Detta antyder att den mekaniska lasten har en relativt liten inverkan på helheten i det fall där lödfogen är intakt och korrekt sammanfogad. Det innebär att värmespänningen dominerar spänningsbilden i detta scenario.



Figur 11-Spänningar för kombinerad SMT Godkänd

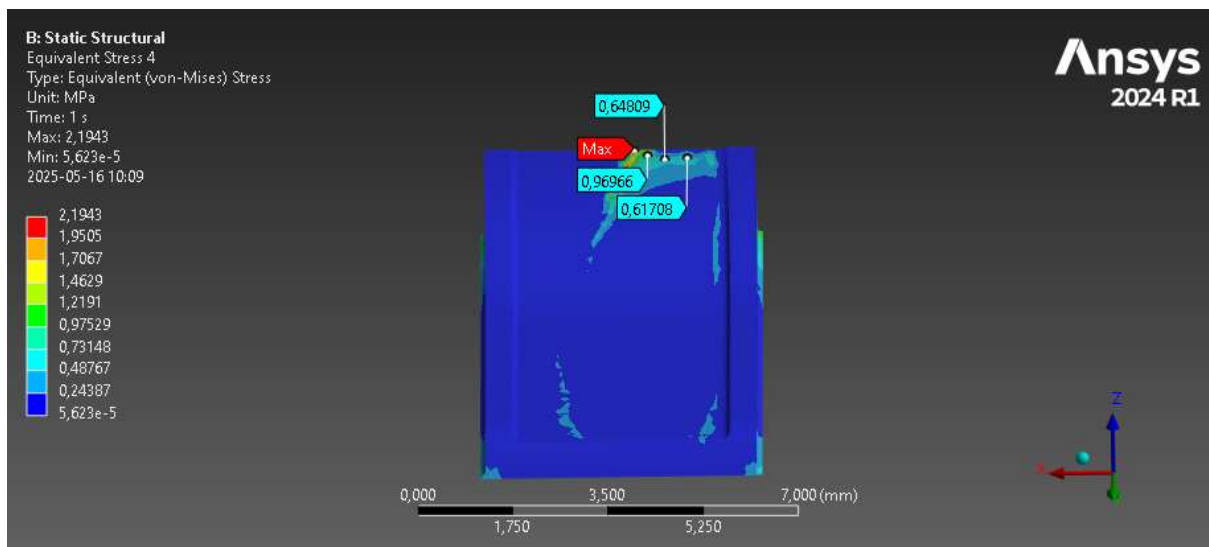
SMT-Underkänd

I fallet med en lödfog som inte uppfyller kvalitetskraven ser man liknande geometri, men en avgörande skillnad ligger i kontaktytan mellan komponenterna. Detta illustreras i Figur 12. En minskad kontaktyta kan uppstå om lödfogen inte fått tillräcklig vätning under tillverkningsprocessen, eller om delar av fogen har släppt under drift, vilket leder till en reducerad sammanfogning och försämrad lastöverföring.



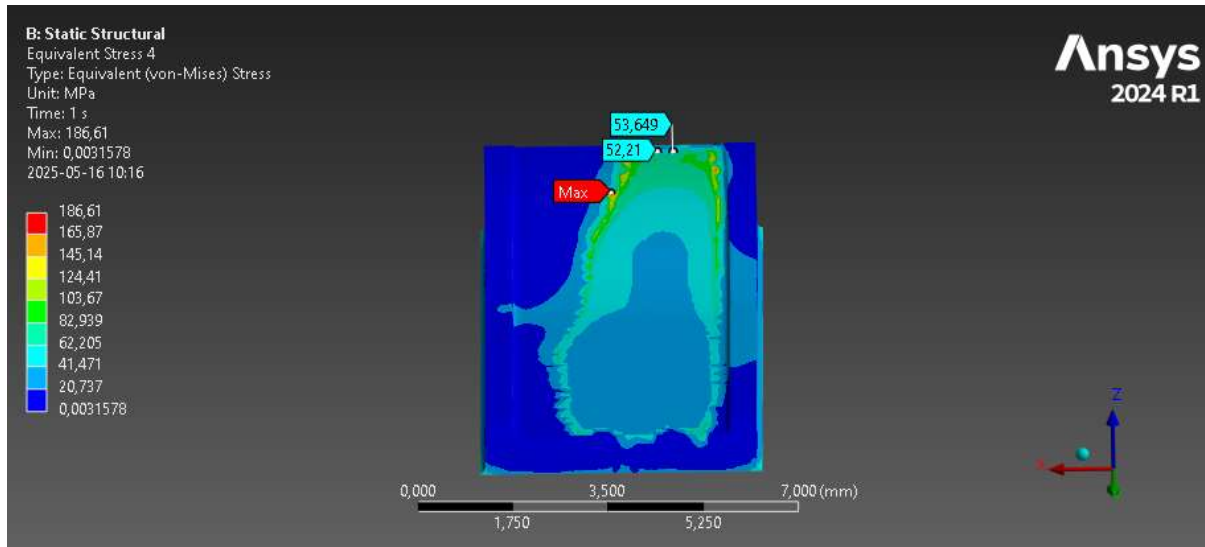
Figur 12: Kontaktyta SMT underkänd

Vid simulering av enbart mekanisk belastning på den bristfälliga lödfogen ses i Figur att spänningen ökar med ungefär en faktor två jämfört med fallet med god kontakt. Denna ökning är förväntad eftersom spänningen (σ) definieras som kraft (F) dividerat med area (A). Om arean halveras, vilket är fallet här, bör spänningen teoretiskt sett fördubblas. Att detta också bekräftas i simuleringen ger ytterligare stöd för att modellen fungerar som förväntat. Detta är dock en förenklad modell då den spänning som visas i bilderna är effektiv spänning och tidigare nämnda sambandet är för drag- och tryckspänning



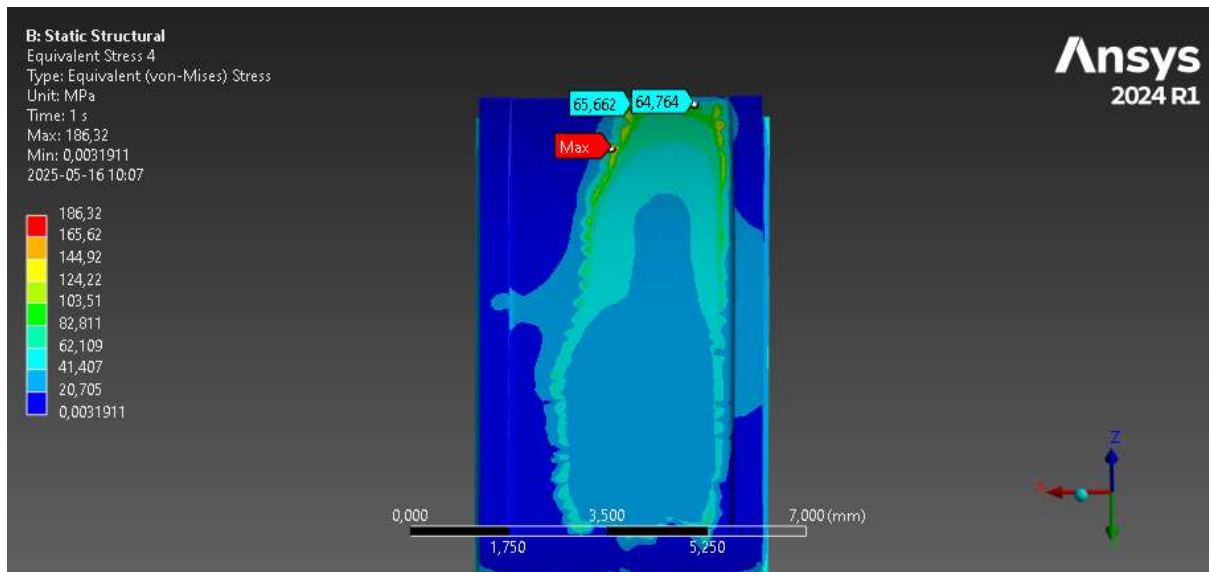
Figur 13: Spänningar för mekanisk last SMT Underkänd

När samma defekta lödfog utsätts för termisk belastning blir spänningen omkring 54 MPa, se Figur 14. Detta kan jämföras med en förenklad teoretisk beräkning där man beaktar förändrad kontaktyta och materialens värmeutvidgningsbeteende, vilket ger ett uppskattat värde på cirka 48 MPa. Den något högre simuleringen kan bero på flera faktorer, bland annat lokala variationer i temperaturfördelning eller hur kontakten har förändrats som skapar lokala max på grund av geometri förändringar. Trots avvikelser ligger resultatet inom ett rimligt intervall och betraktas därför som trovärdigt.



Figur 14 Spänningar för termisk last SMT Underkänd

Det mest intressanta uppstår vid kombinerad belastning av den defekta lödfogen, där spänningen stiger till hela 65 MPa, se Figur 15. Detta är en betydande ökning från de 44 MPa som uppmätts i den intakta fogen vid motsvarande lastfall. Skillnaden visar tydligt att en reducerad kontaktyta inte bara påverkar enskilda lastfall, utan att samverkan mellan mekanisk och termisk belastning förstärker den negativa effekten. Detta indikerar att lödfogen blir betydligt mer känslig och sårbar för kombinerade laster när den inte är fullständigt intakt, vilket kan ha stor betydelse för komponentens livslängd och driftsäkerhet.

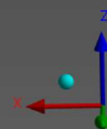
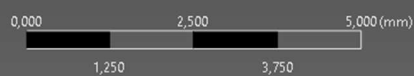
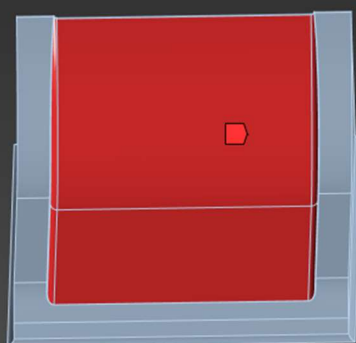


Figur 15 Spänningar för kombinerad last SMT Underkänd

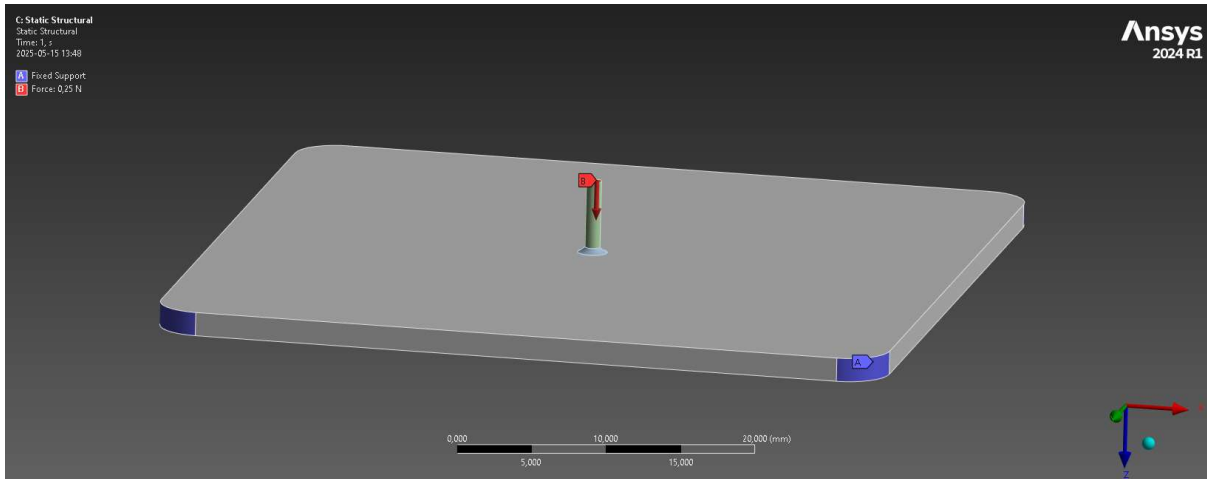
ANSYS kommentar

Till skillnad från de två andra typer av lödfogar där det använts en godkänd och en underkänd lödfog, har använts samma. För att simulera den underkända har istället kontaktytan manipulerats. Kontaktytan som kan ses i Figur 16 är av typen bunden (bonded) dvs att de sitter helt fast vid varandra. Kontaktytan är antagen utifrån standarden som säger hur mycket som skall vara i kontakt. Den som är dålig har en annan kontaktyta se Figur 12. Denna klara inte av kravet att det ska vara mera än 75% kontakt, därför blir den inte godkänd.

- Bonded - SMT-SOLDER-APPROVED|PartBody To SMT-COMPONENT|PartBody (Contact Bodies)
- Bonded - SMT-SOLDER-APPROVED|PartBody To SMT-COMPONENT|PartBody (Target Bodies)



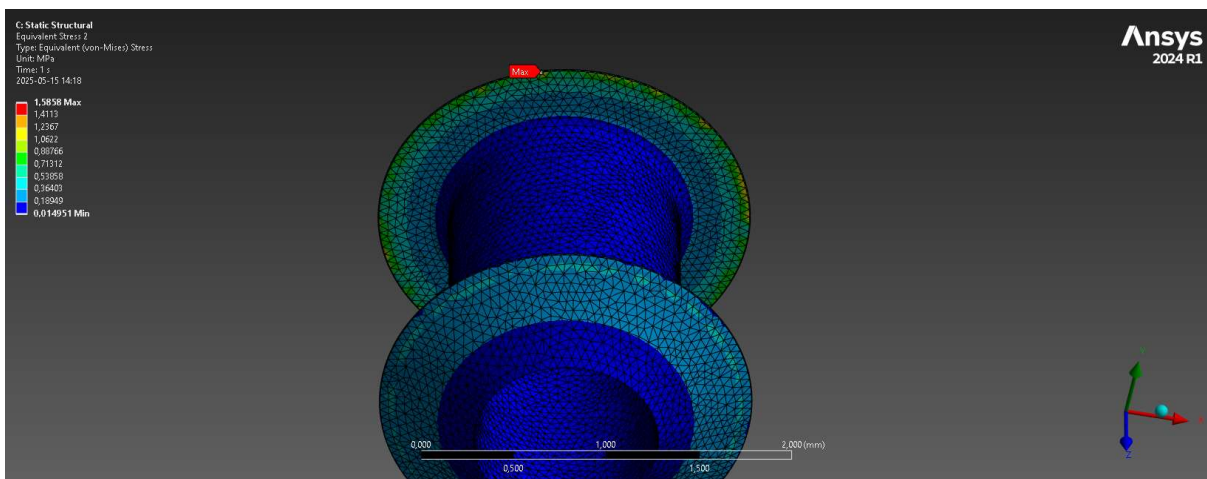
Figur 16: Kontakt yta för SMT godkänd.



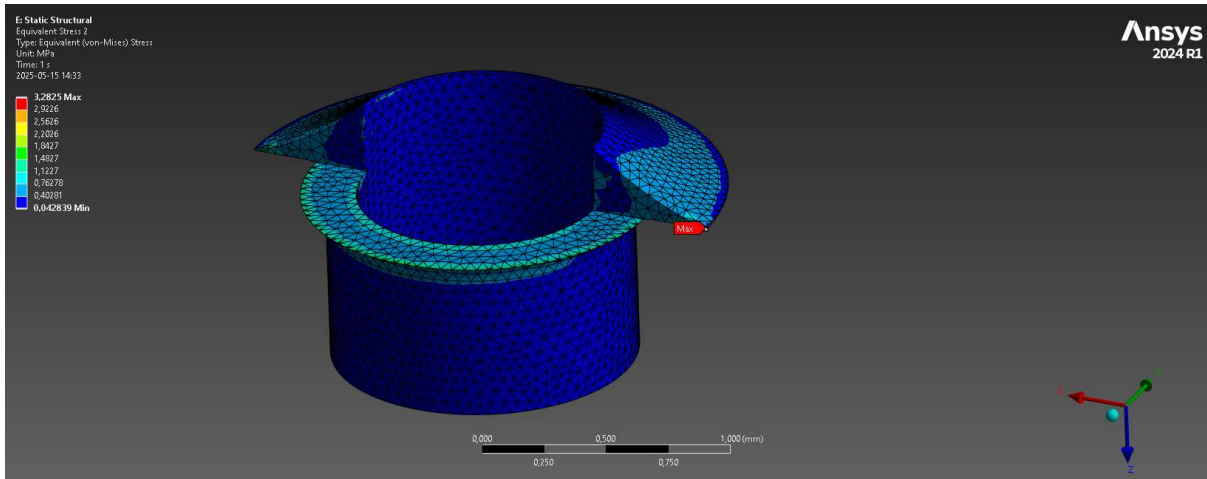
Figur 17 randvillkor för THT

Resultaten nedan visar spänningar som uppkommer när man lägger på en kraft, en temperatur-höjning samt kombinationen av dessa två.

Spänningarna som uppkommer av vibrationerna, hamnar medelvärdet runt 0,7 MPa för den godkända lödfogen, se Figur 18, och 1,1 MPa för den underkända se Figur 19 , vilket är rimligt. Det uppkommer ett maximum på 1,6 MPa i kanten för den bra och 3,3 MPa för den underkända, även där i en kant. Detta kan delvis bero på att det är en kant och enligt teorin kan det uppstå spänningskoncentrationer där. Det kan också vara så att det är en nod och att det är ett resultat av dålig mesh.

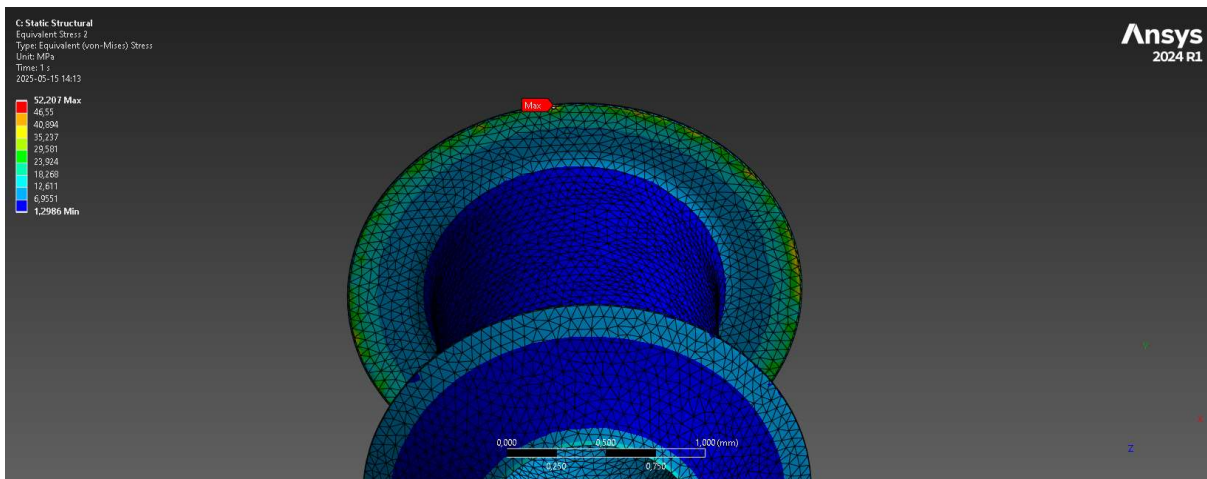


Figur 18 Spänningar för mekanisk last THT Godkänd

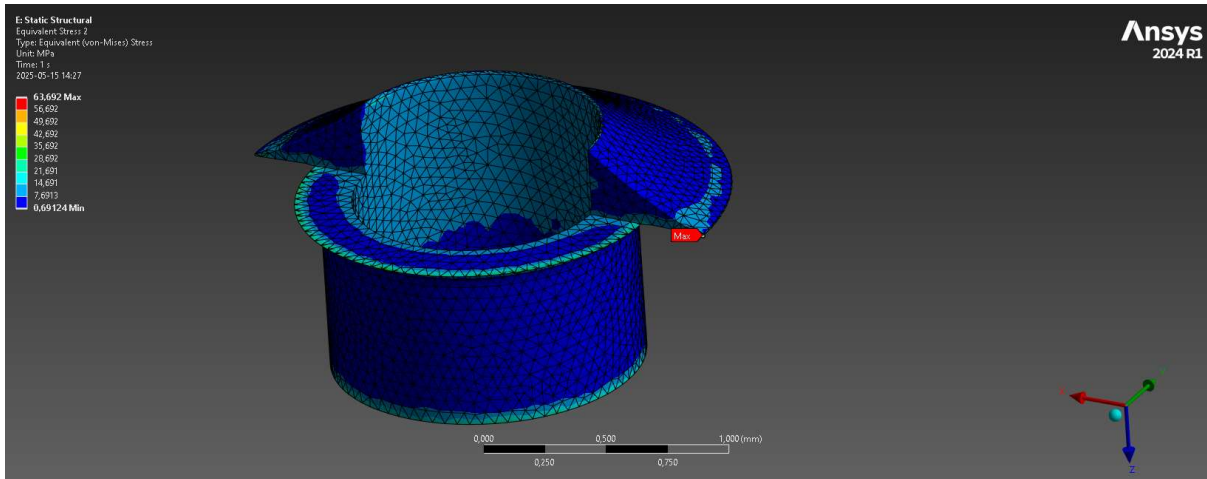


Figur 19 Spänningar för mekanisk last THT Underkänd

För spänningar som uppkommer av att temperaturen höjs syns ett medelvärde på spänningen på 12,6 MPa på den godkända lödfogen, se Figur 20, och 21,6 MPa på den underkända, se Figur 21. Precis som vid påläggning av kraft uppkommer ett maximum i kanterna. Där den godkända lödfogen får ett maximum på 52,2 MPa och 63,7 MPa för den underkända.

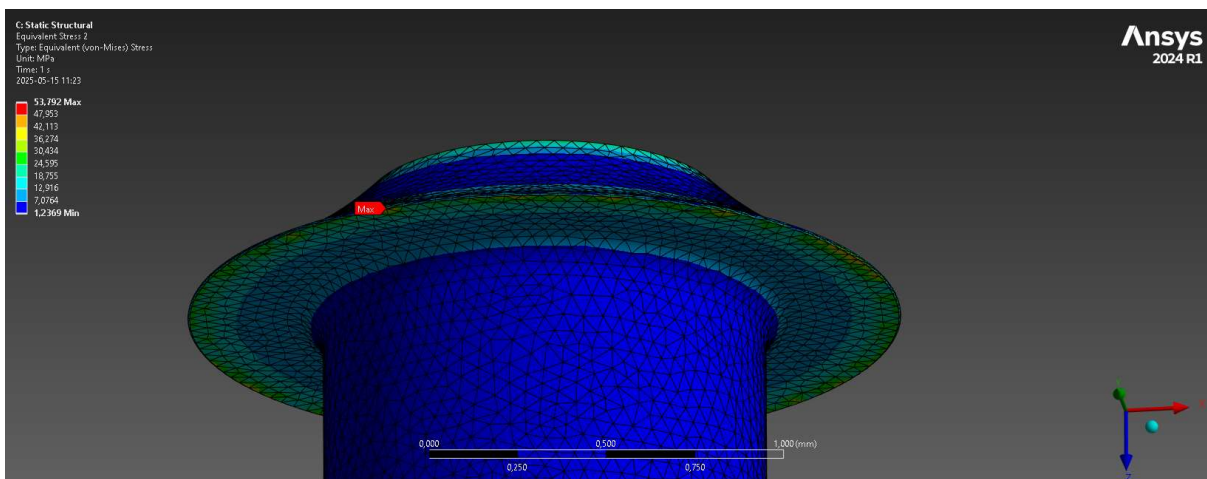


Figur 20 Spänningar för Termisk last THT Godkänd

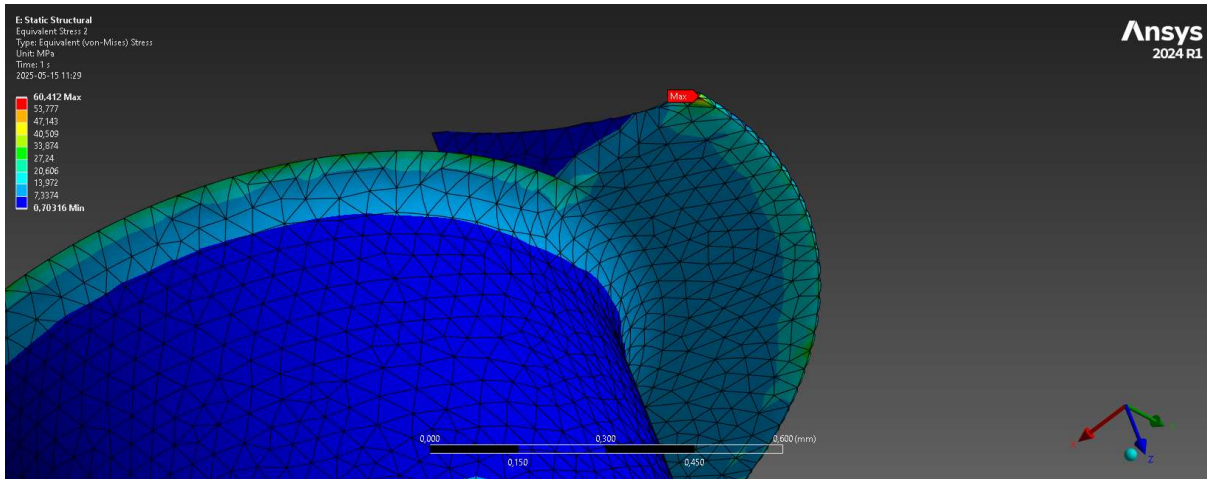


Figur 21 Spänningar för termisk last THT Underkänd

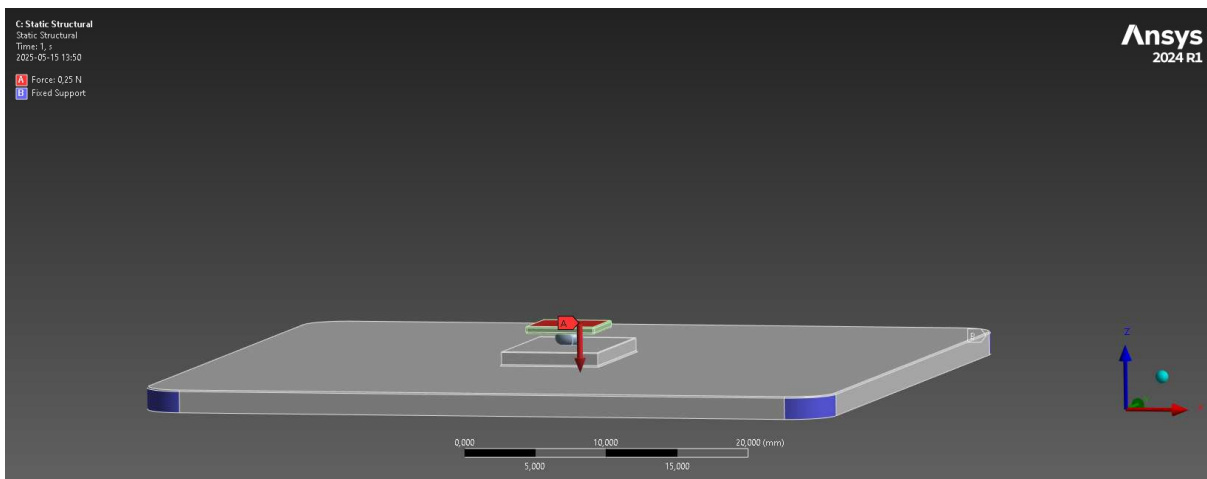
När man slutligen analyserar spänningen för det kombinerade lastfallet fås ett medelvärde på 18,3 MPa för den godkända lödfogen, se Figur 22 och 20,6 MPa för den underkända, se Figur 23. Maximum ligger fortfarande i kanterna och är 53,8 MPa för den godkända och 60.4 för den underkända. Notera att max spänningen för den underkända lödfogen blir lägre i kombinerade lastfallet än när bara temperatur lagts på.



Figur 22 Spänningar för kombinerad last THT Godkänd



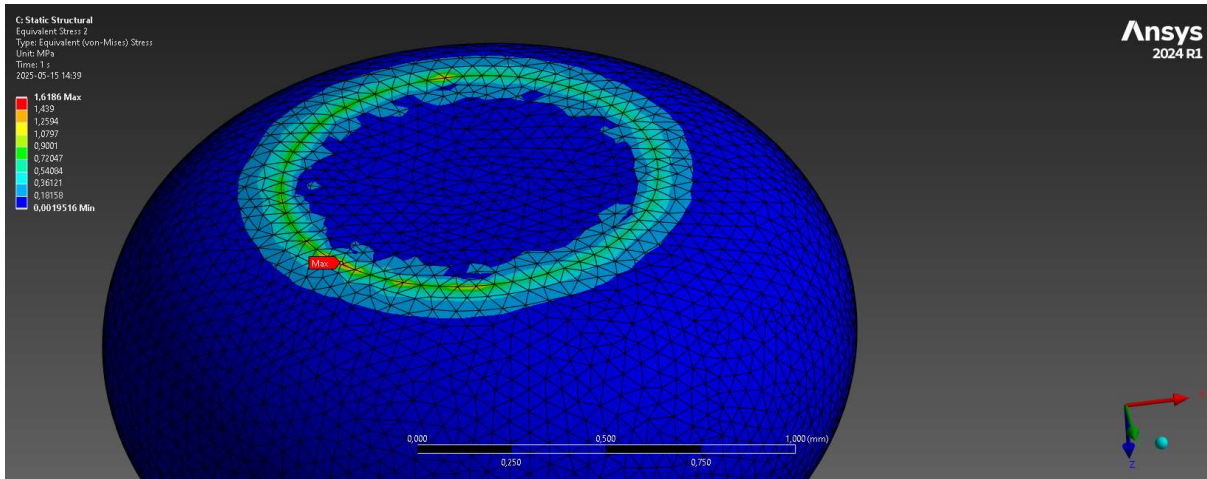
Figur 23 Spänningar för kombinerad last THT Underkänd



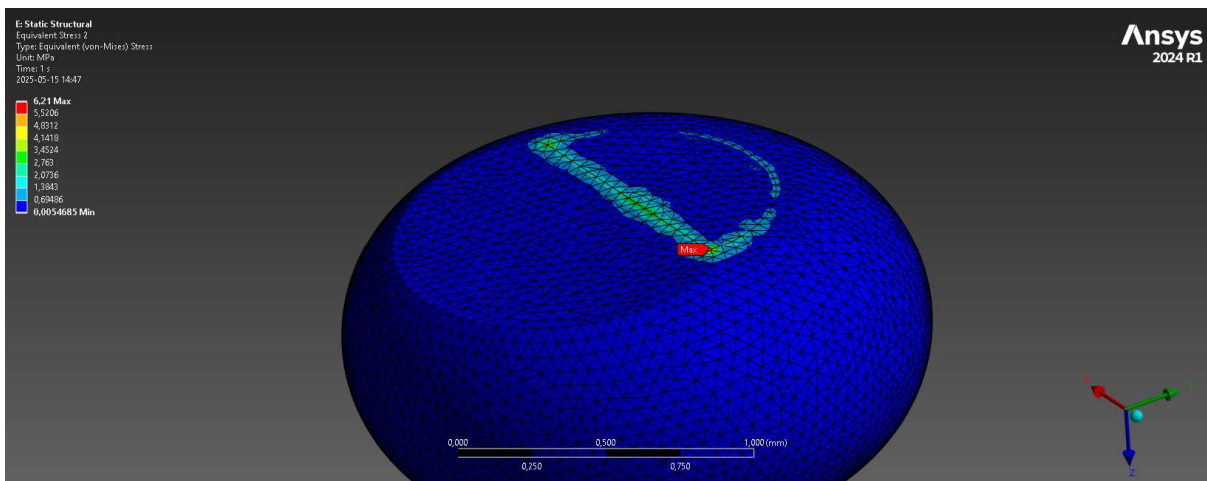
Figur 24 Randvillkor för BGA

Resultatet nedan visar spänningar som uppkommer vid pålagd kraft, en temperatur-höjning samt kombinationen av dessa två.

När man bara lägger på en kraft uppkommer det en medelspänning i den godkända lödfogen på 0,2 MPa, se Figur 25, och 0,7 MPa i den underkända, se Figur 26. Båda får ett maximum i kanten där den godkända blir 1,6 MPa och den underkända 6,2 MPa.

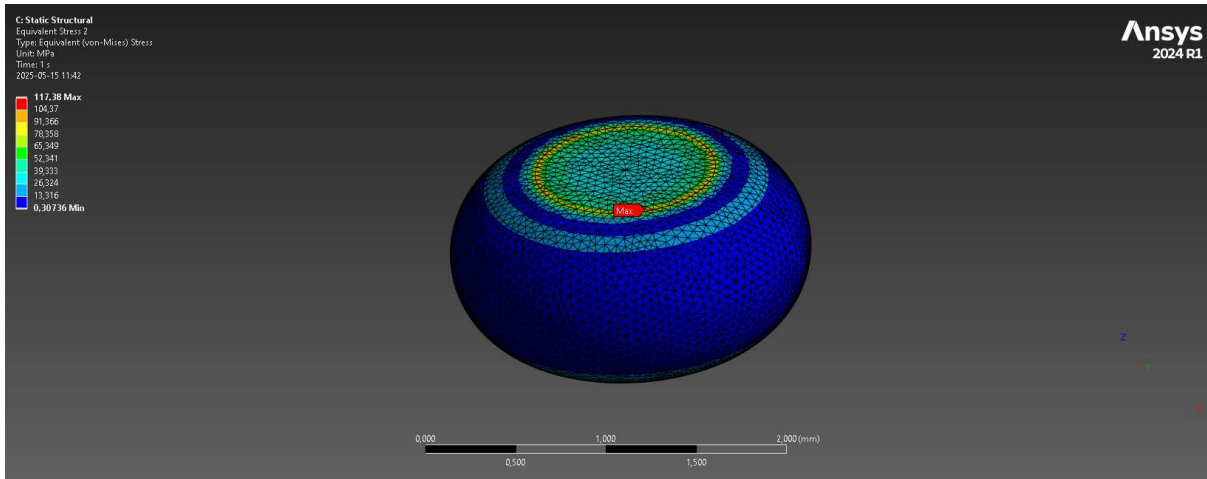


Figur 25 Spänningar för mekanisk last BGA Godkänd

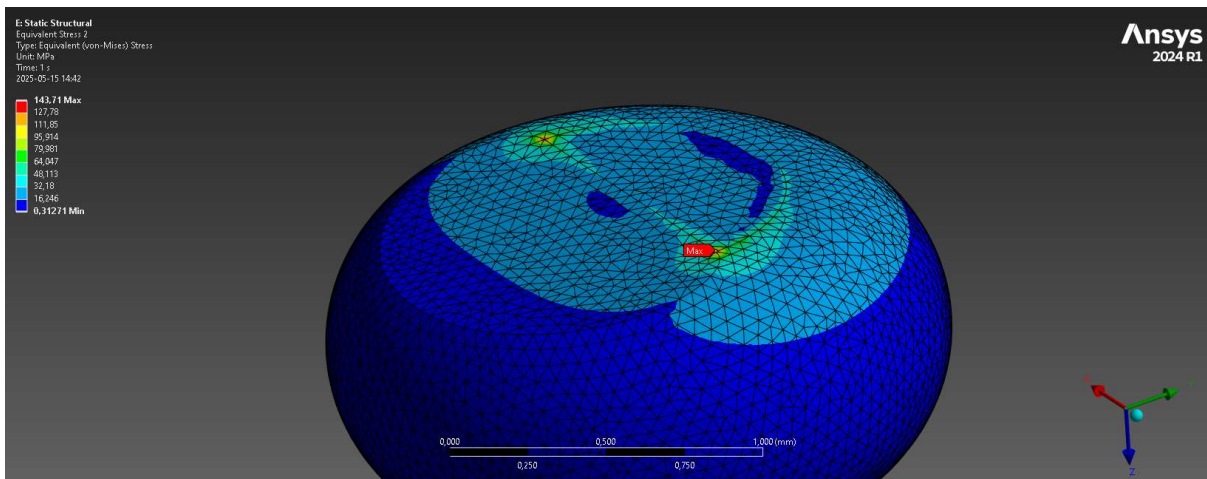


Figur 26 Spänningar för mekanisk last BGA Underkänd

För fallet med endast en temperaturhöjning uppkommer en medelspänning i den godkända lödfogen på 52 MPa, se Figur 25 och 64 MPa på den underkända, se Figur 26. Den maximala spänningen uppkommer i kanterna och uppgår till 117 MPa för den godkända och 143 för den underkända.

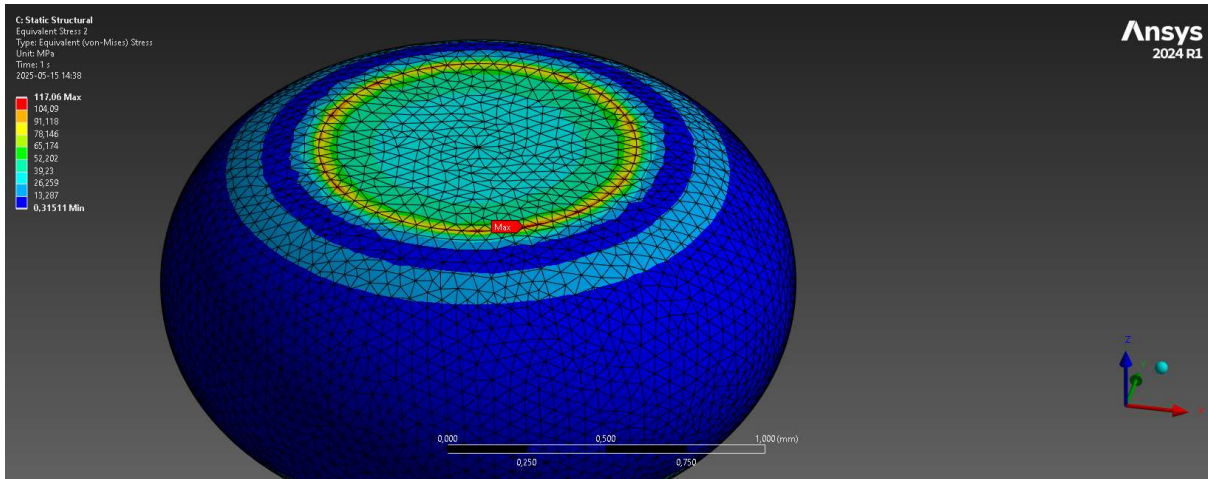


Figur 27 Spänningar för termisk last BGA Godkänd

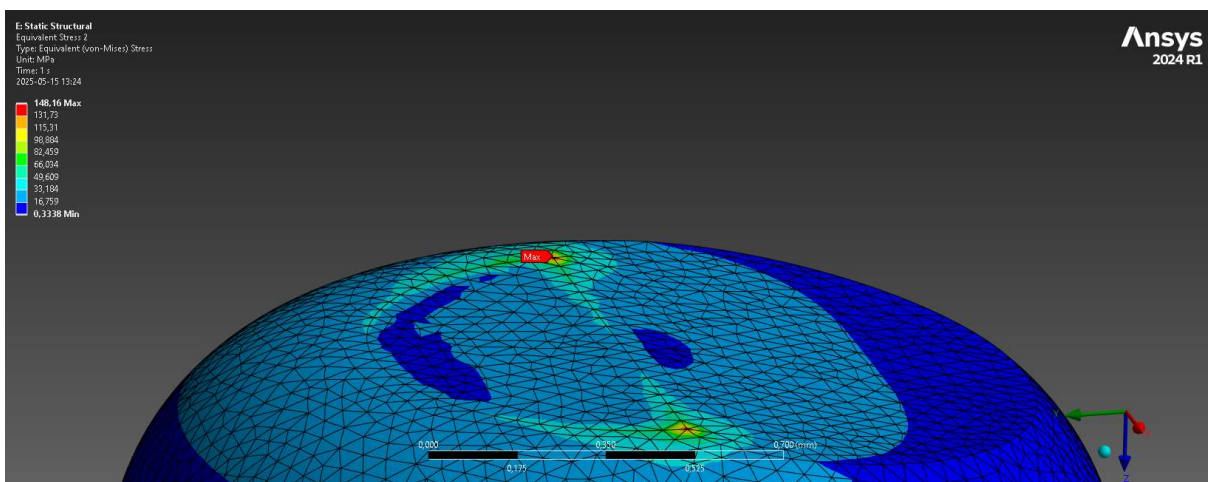


Figur 28 Spänningar för termisk last BGA Underkänd

När man kombinerar de två lastfallen blir medelspänningen för den godkända lödfogen 52 MPa, se Figur 29, och för den underkända fås 66 MPa, se Figur 30, i maximum uppgår den godkända till 117 MPa och den underkända till 148 MPa.



Figur 29 Spänningar för kombinerad last BGA Godkänd



Figur 30 Spänningar för kombinerad last BGA Underkänd

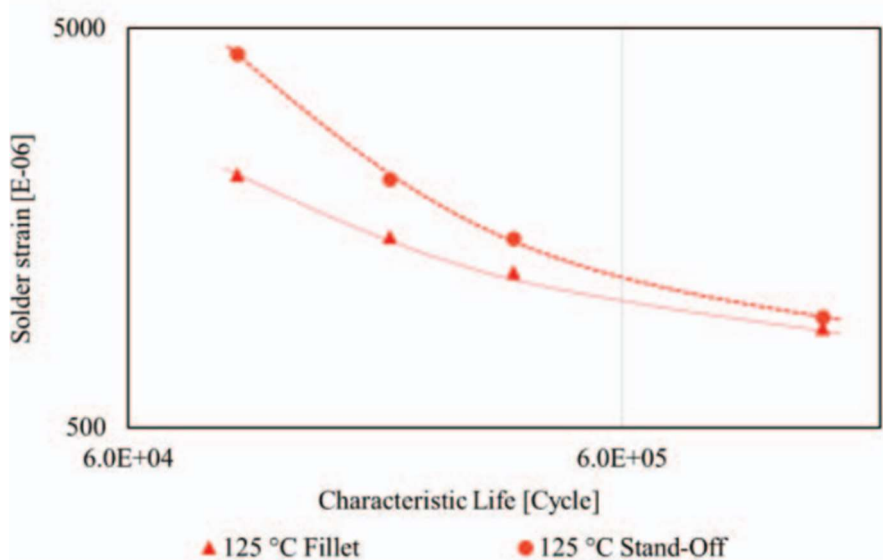
4.5 Sammanställning resultat och beräkning av livslängd

Nedan i Tabell 1 visas en sammanställning av resultaten från simuleringarna i Ansys vid respektive last samt kombinerad last. Värdena står i MPa.

Tabell 1 Resultat

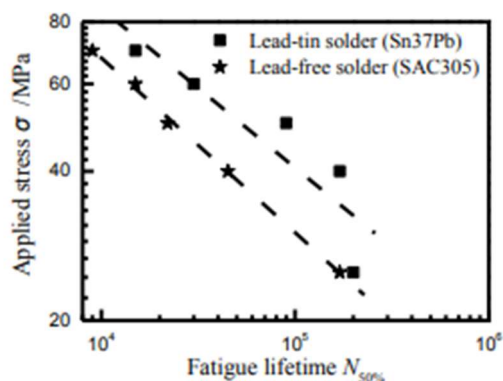
	Kraft	Ökning	Temperatur	Ökning	Kombinerad	Ökning
SMT Godkänd	0,88		44,18		44,04	
SMT Underkänd	2,19	248,9%	54	122,2%	65	147,6%
THT Godkänd	1,59		52,21		53,79	
THT Underkänd	3,28	206,3%	63,69	122,0%	60,41	112,3%
BGA Godkänd	1,62		117,06		117,38	
BGA Underkänd	6,21	383,3%	143,71	122,8%	148,16	126,2%

Från information insamlingen har en σ -N kurva hittats och en ϵ -N kurva. Den första som ses i Figur 31 är en ϵ -N kurva med töjning på vertikala axeln och cykler på horisontella axeln. Den har tagits fram genom en skakbänk som har skakat en uppvärmd lödfog till brott med olika amplituder på spänningen. Detta fall liknar mycket skakning i bilen och därav kommer denna ϵ -N kurva att användas för beräkning av livslängden för mekaniska lasten.

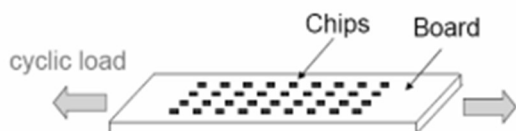


Figur 31: ϵ -N kurva för SAC305

Den andra σ -N kurvan ses i Figur 32: σ -N kurva för SAC305 med 50%. Lasterna appliceras i PCB kanterna som ses i figur 30. Detta fall liknar mera värmespänning då både värme och detta fallet har samma typ av spänningar. Som kan ses i Figur 33 verkar krafterna i kanterna på kretskortet vilket till leder till horisontella spänningar lödfogen. Samma gäller för när två material värms upp, den med högst CTE kommer att dra i det material med lägre CTE. Detta ger upphov till horisontella spänningar.



Figur 32: σ -N kurva för SAC305 med 50%



Figur 33: Krafter för σ -N kurva

Livslängd

Jämför man resultaten för SMT mot σ -N kurvan, Figur 32 och ϵ -N kurvan, Figur 33 för att beräkna livslängden får man följande resultat. Då kraft last verkar har spänningen uppskattats till 0,8 MPa, när enbart termisk last verkar 44 MPa och kombinerad 45 MPa. Den spänning som uppkommer vid kraft last konverteras till töjning via följande formel:

$$\epsilon = \frac{\sigma}{E} \quad (5)$$

Detta ger en töjning på $6,35 \times 10^{-6}$. Jämförs nu dessa värden med ϵ -N kurvorna, se Figur 31 så fås ungefärliga livslängder på en icke utmattande för kraft last och för värme blir livslängden ungefär 30000 cykler om man jämför mot Figur 32. För den underkända godkända lödfogen blir i stället livslängden följande: för vibration fortfarande inte utmattande och för värmen minskar cyklerna med 5000 tusen cykler och kan antas uppmätas till 25000 cykler.

Livslängden för de godkända THT-lödfogarna. Först för den med en kraft last vilket har en spänning som uppmätts till 1.6 MPa vilket motsvarar en töjning på $2,5 \times 10^{-5}$. Denna töjning leder inte till en utmattande effekt. När värmen i stället beaktas så uppkommer en spänning på 52,2 MPa. Denna spänning leder till en ungefärlig livslängd på 25000 cykler. Då den dåligas livslängd studeras så uppkommer först en vibrationsspänning på 3,4 MPa och en töjning på $4,97 \times 10^{-5}$ vilket fortfarande inte är en utmattande töjning. Värme spänningen för den dåliga som uppgår till 63,7 MPa vilket leder till en livslängd på ungefär 20000 cykler.

Livslängden som beräknas för BGA för godkända lödfogarna. Mekanisk belastning ger en spänning på 1,6 Mpa och en töjning på $2,5 * 10^{-6}$ vilket inte ger en utmattande effekt. För värme, som har en uppkommen spänning på 117 MPa vilket har en estimerad livslängd på 4000 cykler. För den icke godkända lödfogen blir spänningar 6 MPa och töjning på $9,4 * 10^{-6}$ vilket anses inte vara utmattande medan den termiska belastade har en spänning på 140 MPa vilket leder till en livslängd på 3000 cykler,

5. Slutsatser

- Lödfogarna som uppfyller kraven enligt IPC-610-A får en lägre spänning vid termisk, mekanisk och kombinerad belastning för våra lastfall.
- De termiska belastningarna ger upphov till störst spänningar i våra lödfogar.
- Vid samma tjocklek på ben ger SMT lägst spänning av lödmetoderna.

6. Diskussion och Fortsatt arbete

På samtliga lödfogar som vi simulerade i Ansys kan vi se att spänningar blir lägre för dem som är utformade enligt den IPC standard som finns. De lödfogar som inte uppfyllde kraven enligt standarden uppvisar högre spänningar. Detta gäller framför allt i kanterna på lödfogarna med det finns även en trend att medelspänningen blir högre för hela lödfogen. När vi räknar på livslängden på lödfogen och hur den utmattas utgår vi från den maximala spänningen och då den skiljer sig mycket mellan den godkända och underkända får vi en markant skillnad i livslängd.

Man kan se att samtliga resultat en spänningskoncentration och maximum i kanterna. Även om det skulle kunna stämma finns det en risk att det är ett resultat av en dålig mesh och att den hamnar i en nod vilket innebär att spänningskoncentrationen beror på en singularitet. Man bör därför vid vidare arbete ta fram ett resultat som konvergerar när man förfinar meshen.

När vi har beräknat livslängden för lödfogarna har vi utgått från den maximala spänningen för den mekaniska- och termiska lasten och antagit att de är konstanta. I verkliga fallet varierar både den termiska och mekaniska spänningen och således. När bilen startas kommer temperaturen stiga och beroenden på körningen kommer olika ström att gå igenom komponenterna och därför kommer temperaturen variera. Det medför att spänningen på grund av temperaturen kommer variera under körning.

I det mekaniska lastfallet räknas på hur stor kraft den som max skulle kunna uppleva och använder det som en konstant kraft. I det verkliga fallet kommer denna kraft att variera på grund av att det är olika ojämnheter i vägen. Men då dessa vibrationer inte ger upphov till en särskilt stor kraft i relation till den termiska lasten har vi ansett att det ger en bra indikation genom att sätta den konstant.

Vi har således antagit att en cykel för termisk belastning är från man startar bilen till att man stänger av den och på nytt startar den,

En viktig aspekt att ta hänsyn till är att vi räknat på ett "ben" vid THT och SMT eller vid BGA en lödboll. I det verkliga fallet ser det ofta annorlunda ut. Exempelvis en diod som fästs med THT teknik har två stycken ben och lasten delas då på två lödfogar. En logikkrets som är fäst med SMT teknik kan ha 14 ben som lasten fördelas på. Vid montering av ett chip med BGA teknik kan beroende på storlek ha 32 stycken eller fler lödbollar som lasten fördelas på. Resultatet vi fått fram kan därför vara missvisande, då har vi använt oss av ett ben och en lödfog respektive lödboll. Vid vidare arbete bör man kolla på specifika komponenter och på så vis får ett med precist jämförelsebaserat resultat.

På grund av bristande tid och resurser gjordes inget dragprov som kunde validera de beräkningar som utfördes. Vi fick därför använda oss av σ -N kurva som vi erhållit från en rapport. I denna graf har man tagit fram en kurva som beskriver cykler till brott med 50%. Där ϵ -N kurvan har tagits fram till brott. De två har som tidigare nämnts två olika lastfall som har antagits vara liknande dem som vi har men inte exakt likadana. Som ses i Figur 8 så antas denna att lödfogen är uppvärmd till 130 grader vilket med våra antagande inte kommer bli den temperatur som uppkommer i lödfogen

En uppskattad livslängd på ungefär 30000–25000 cykler för SMT och THT anses vara inom rimliga gränser. Dock om man kollar på BGA för man bara 4000 cykler vilket antas vara väldigt lite och under förväntat cykelantal. Om man antas köra fem sådana cykler per dag, skulle lödfogen utmattas på 16 år för SMT och 14 år för THT. Men BGA kommer utmattas på 2 år vilket är orimligt kort tid. Dock anses att fem cykler per dag är en hög siffra och i verkligheten för de flesta användare kommer den att utsättas för färre cykler per dag. Medan spänningarna på grund av vibrationer för vårt lastfall kan anses vara ej utmattande.

Alla dessa resultat är utifrån våra antagande på temperatur, kraft och hur kretskortet är fäst på inverten. Om man ändrar på någon av de faktorerna kan resultatet ändras helt och därav kan våra resultat inte anses vara en riktig bild av lödfogar överlag. Att vibrationslasten inte skulle vara utmattande för alla lödfogar är en slutsats som ej kan dras. Resultatet har också helt bortsett från krypning som tidigare nämnts i rapporten då viktiga nyckeltal för att kunna räkna på krypningen ej har kunnat erhållits. Som nämnts tidigare anses det vara den största bidragande faktorn till utmattning över tiden så realistiskt borde detta innebära en kortare livslängd.

Utifrån resultatet kan man se att en minskad kontaktyta som i den ytmonterade komponenten ökar spänningen vid en given last. Det går att uppskatta att krypningskadan kommer bidra till en negativ effekt på livslängden eftersom krypnings skadan, kan tillika kontaktförlusten då det skapas en spricka i materialet,

Fortsatt arbete:

Som fortsatt arbete rekommenderar vi att först studera krypning en mera och hur mycket den kommer försämra livslängden. Enligt tidigare nämnda rapporter kommer krypning vara den största bidragande faktor vid utmattning.

Man bör göra tester för att ta fram en bättre σ -N kurva som är anpassad till rätt lastfall och lödning. Även titta på specifika komponenter och simulera lödfogen utifrån det.

En annan sak som behöver jobbas vidare på är meshen vid simuleringarna. Även kontrollera så att resultaten konvergerar, alltså att man får samma resultat även när man har en finare mesh.

7.Källor

Lin, J., Lei, Y., Wu, Z., & Yin, L. (2010). *Comparison Investigation of Thermal Fatigue and Mechanical Fatigue Behavior of Board Level Solder Joint*, 1179–1182.

<https://doi.org/10.1109/icept.2010.5582756>

Comparing SAC305 and SAC405 solder application. (u.å.).

<https://www.fomyn.com/new/Comparing-SAC305-And-SAC405-Solder-Application.html>

Sufyan, M. (2024, April 25). *Types of Solder: A comprehensive guide for engineering professionals.* Wevolver. <https://www.wevolver.com/article/types-of-solder>

Ytmonterad VS genomgående hål: för- och nackdelar. (u.å.). Highleap Electronic.

<https://hilelectronic.com/sv/surface-mount-vs-through-hole/>

Lau, B. (2024b, June 13). *Ytmonteringsteknik: förbättrar PCB-enhetens effektivitet -*

TryVary. <https://tryvary.com/sv/fordelar-med-ymonteringsteknik-i-pcb/>

Admin. (2024b, February 29). *Through-hole assembly – a complex guide on THT assembly, part II.* Nordes EMS. <https://www.nordesems.com/sv/through-hole-assembly-a-complex-guide-on-tht-assembly-part-ii-2/>

Copco, A. (2024b, December 9). *Grunderna för kretskortsmontering och -lödning.* Atlas

Copco. <https://www.atlascopco.com/sv-se/compressors/wiki/compressed-air-articles/pcb-assembly-soldering>

Copco, A. (n.d.-b). *Olika tekniker för lödning av elektroniska kretskort - Atlas Copco.* Atlas

Copco. <https://www.atlascopco.com/sv-se/compressors/air-compressor-blog/olika-tekniker-for-lodning-av-elektroniska-kretskort>

Mastering Inverter Basics: How does an inverter work? (n.d.).

<https://www.pcbonline.com/blog/mastering-inverter-basics.html>

IPC. (2017). *IPC-A-610G: Acceptability of electronic assemblies* (Rev. G). IPC – Association Connecting Electronics Industries.

Syed, A. (2004b). *Accumulated Creep Strain and Energy Density Based Thermal Fatigue Life Prediction Models for SnAgCu Solder Joints*.

<https://doi.org/10.1109/ectc.2004.1319419>

Syed, A. (2004). Accumulated creep strain and energy density based thermal fatigue life prediction models for SnAgCu solder joints. *Accumulated Creep Strain and Energy Density Based Thermal Fatigue Life Prediction Models for SnAgCu Solder Joints*.

<https://doi.org/10.1109/ectc.2004.1319419>

Singularity Engineering LLC. (2020, September 16). *Solder joint reliability analysis using Darveaux method - webinar* [Video]. YouTube.

<https://www.youtube.com/watch?v=cd3tPmdMpZ8>

Ding, M. (2019, February 24). *Electronics Reliability - It's getting hot in there!* — Singularity Engineering LLC. Singularity Engineering LLC.

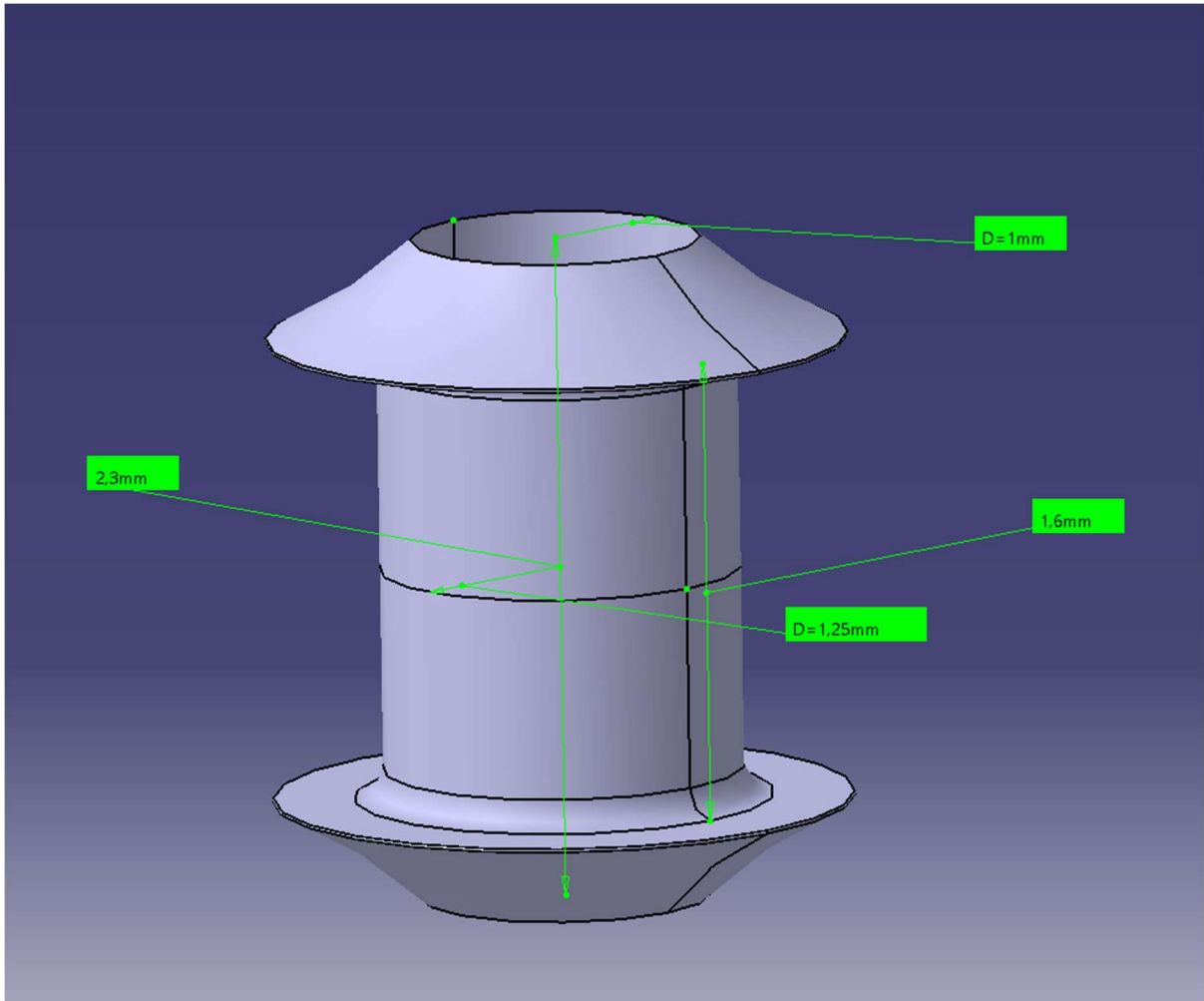
<https://www.singularityeng.com/singularity-engineering-blog/2018/12/20/electronics-reliability-its-getting-hot-in-there>

How can you determine the strength of a solder joint for electronics repair? (2024, March

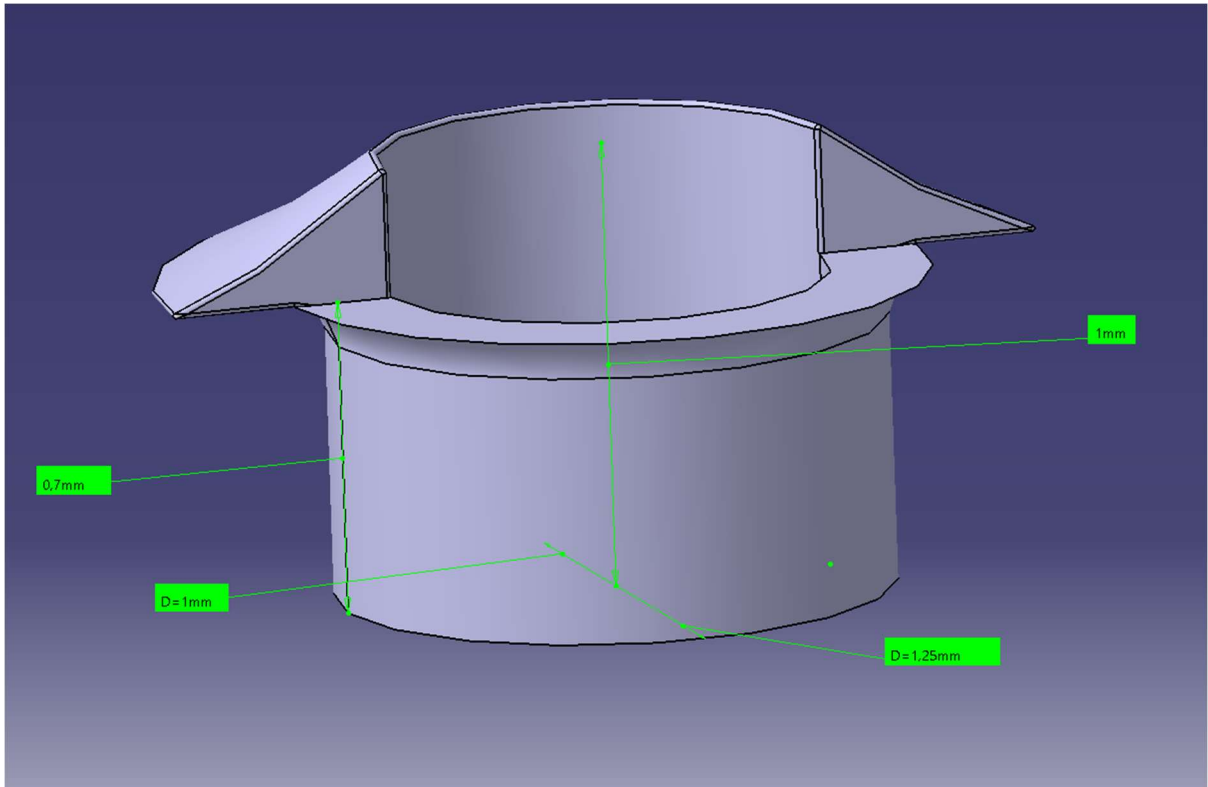
12). www.linkedin.com. <https://www.linkedin.com/advice/3/how-can-you-determine-strength-solder-joint-electronics-mrcqc>

Bilagor

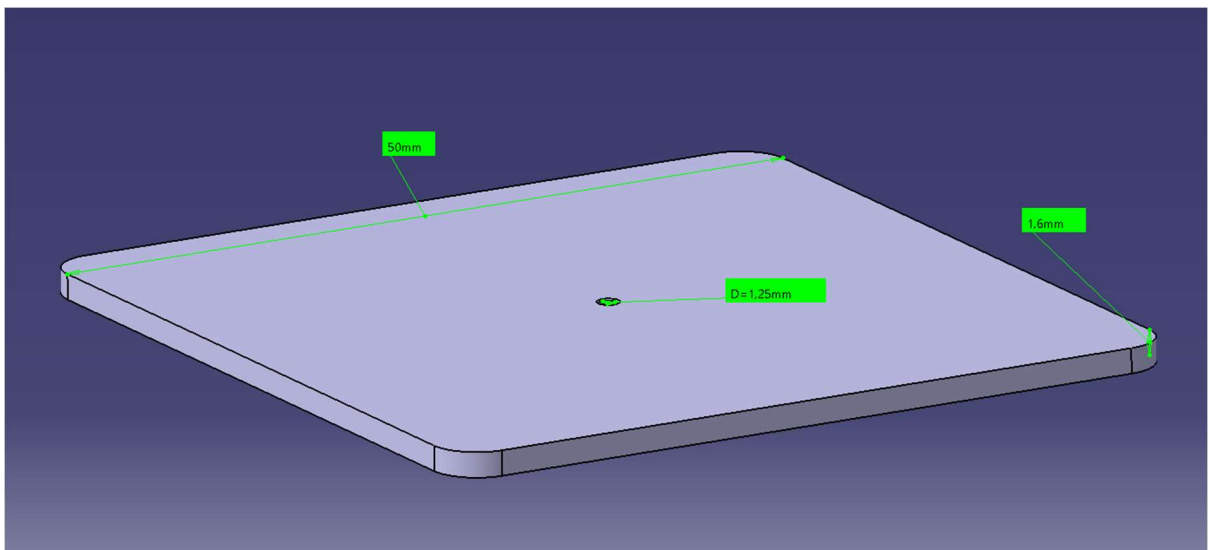
Bilaga A CAD



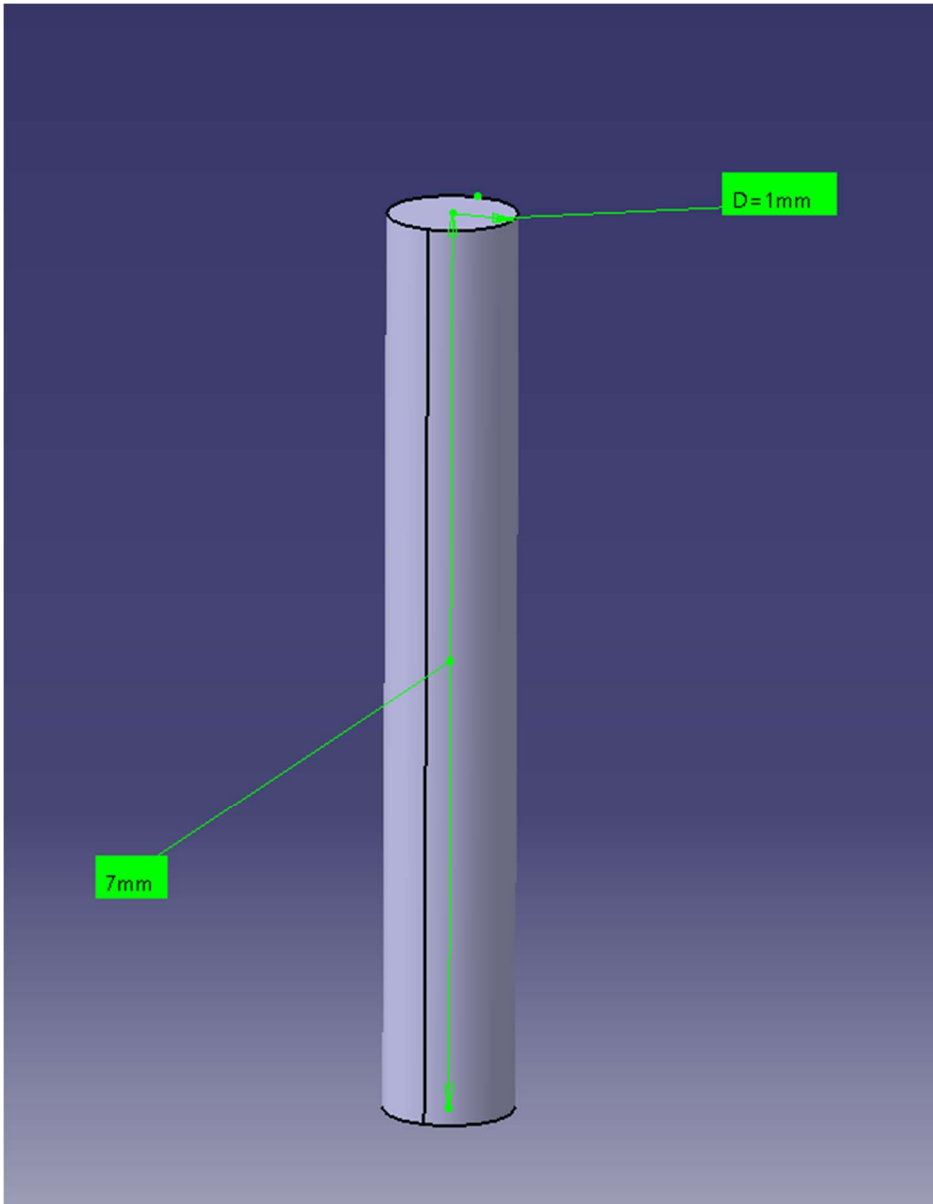
Figur A 1 CAD-Modell THT



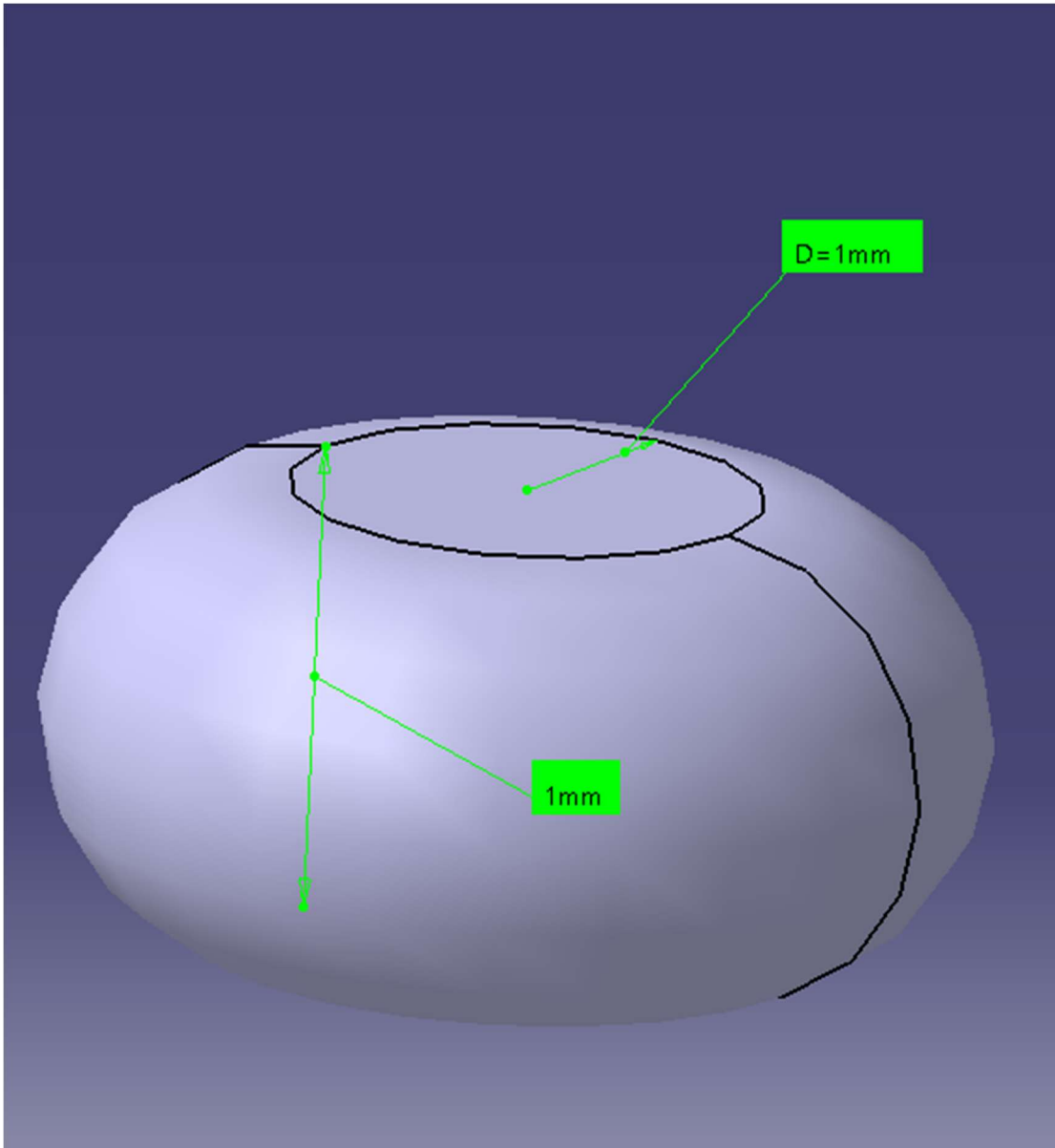
Figur A 2 CAD-Modell THT Undekänd



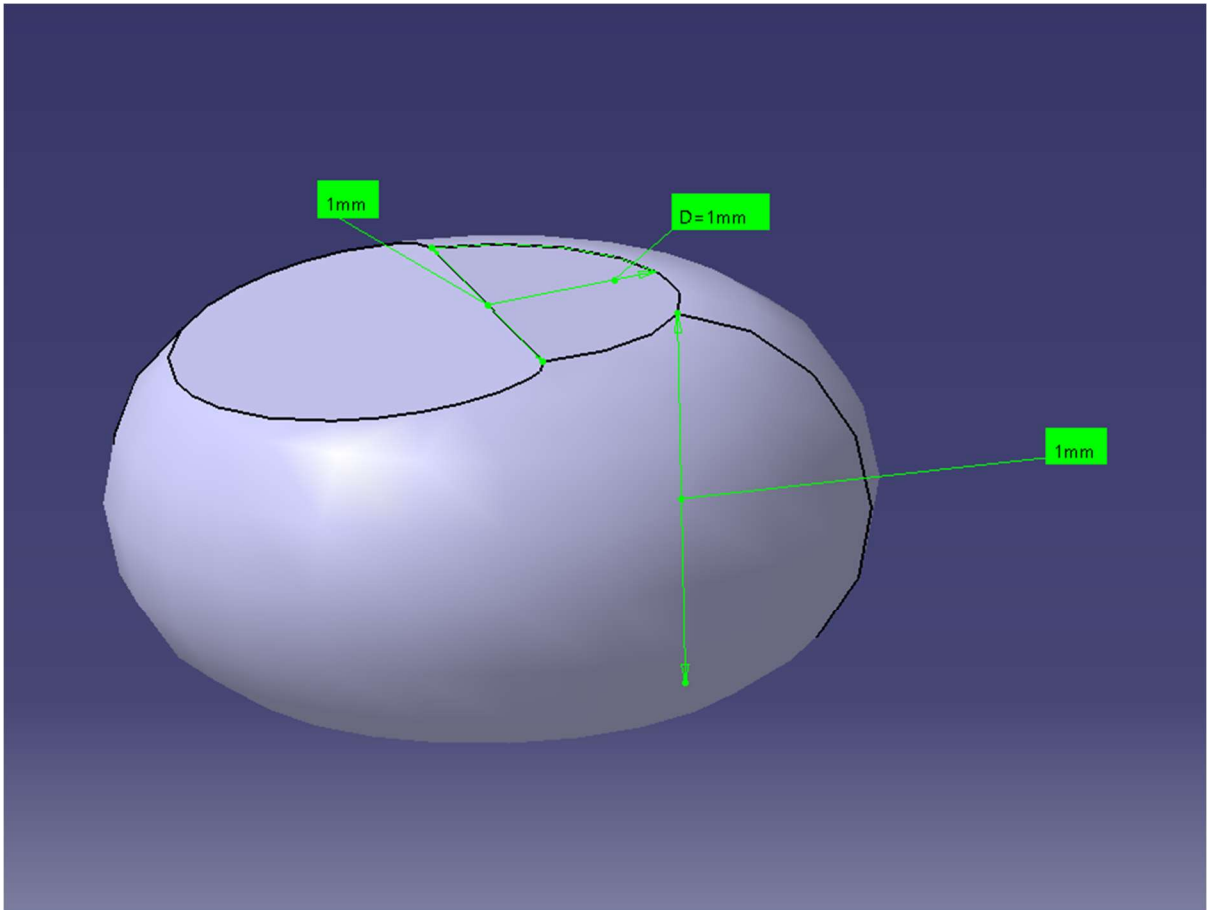
Figur A 3 CAD-Modell PCB THT



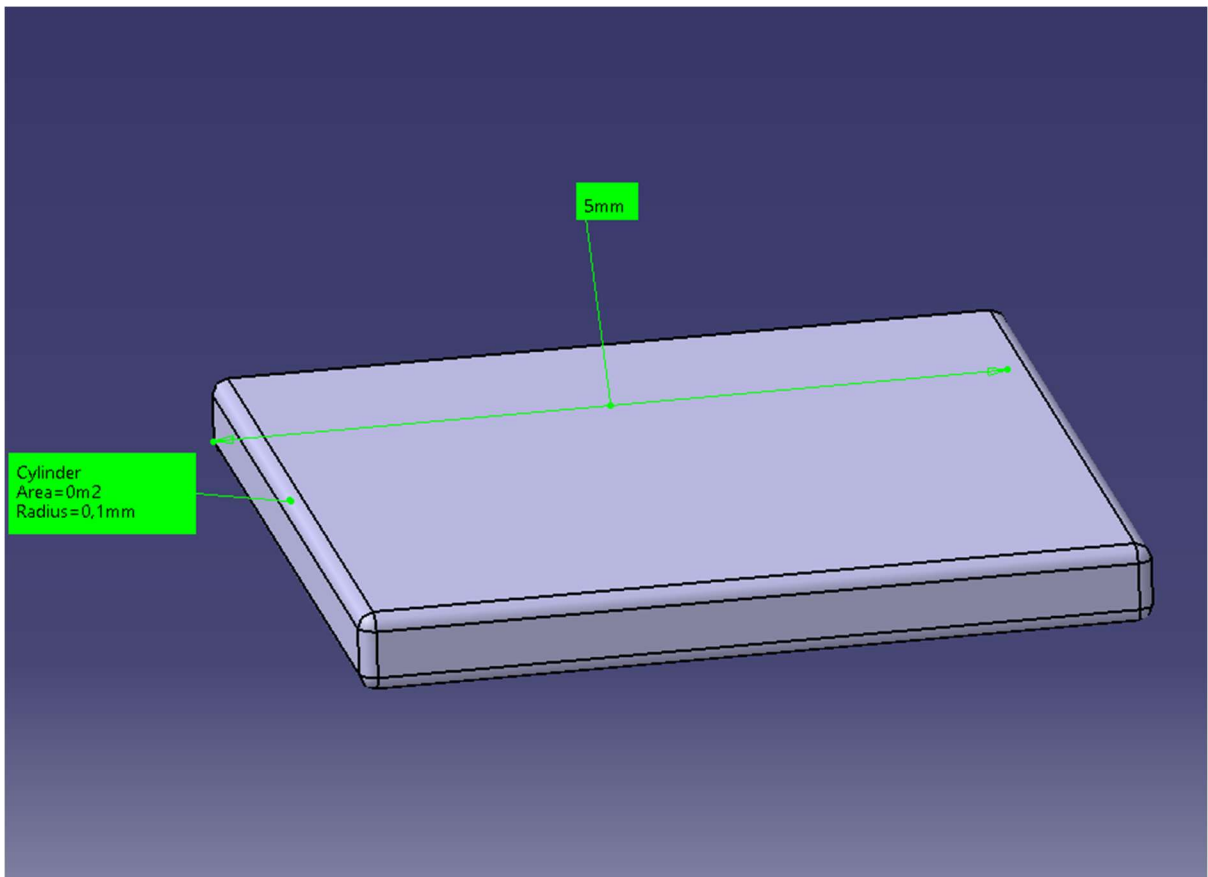
Figur A 4 CAD-Modell Komponent Ben THT



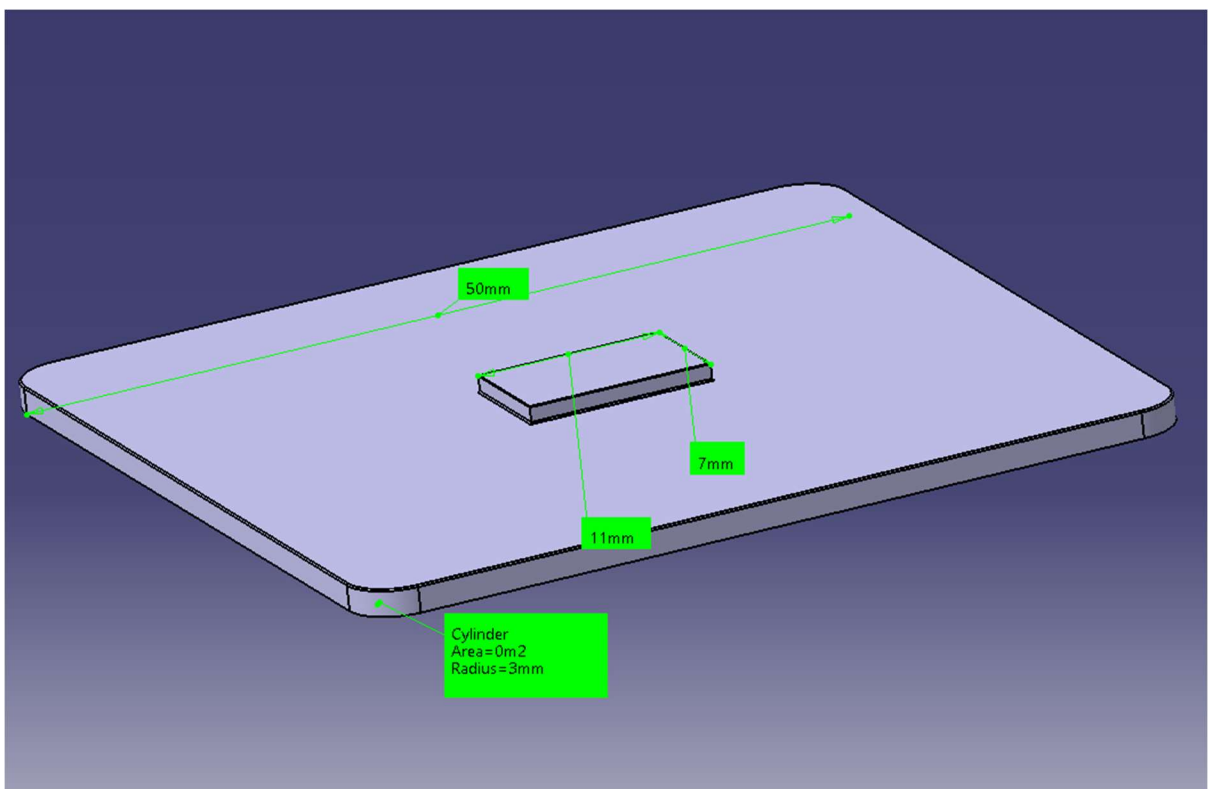
Figur A 5 CAD-Modell Lödboll BGA



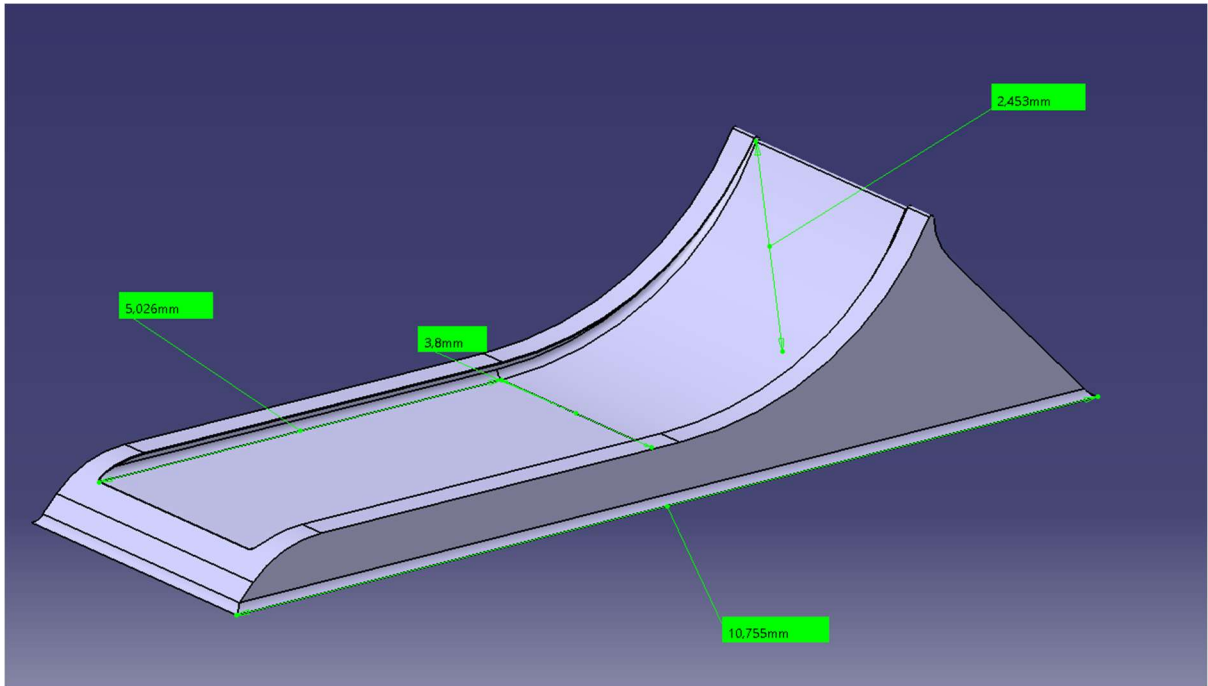
Figur A 6 CAD-Modell Lödboll BGA Undekänd



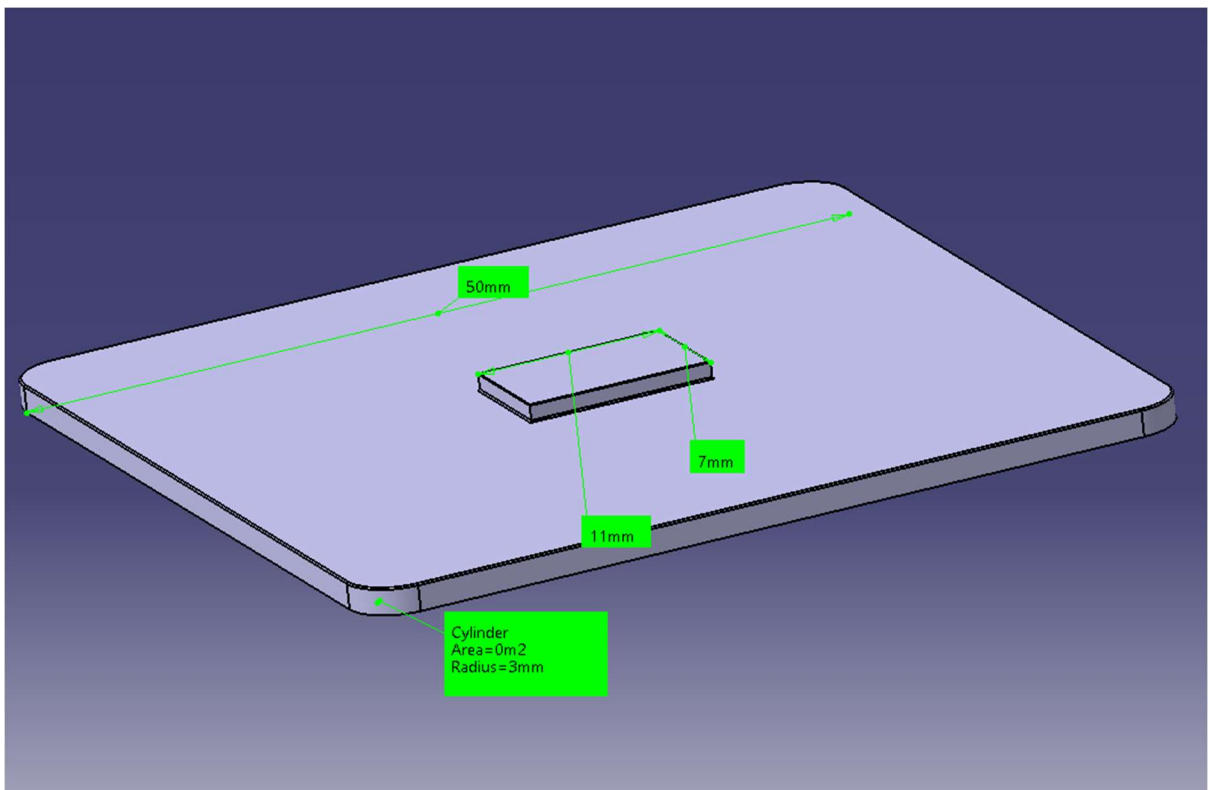
Figur A 7 CAD-Modell Chip BGA



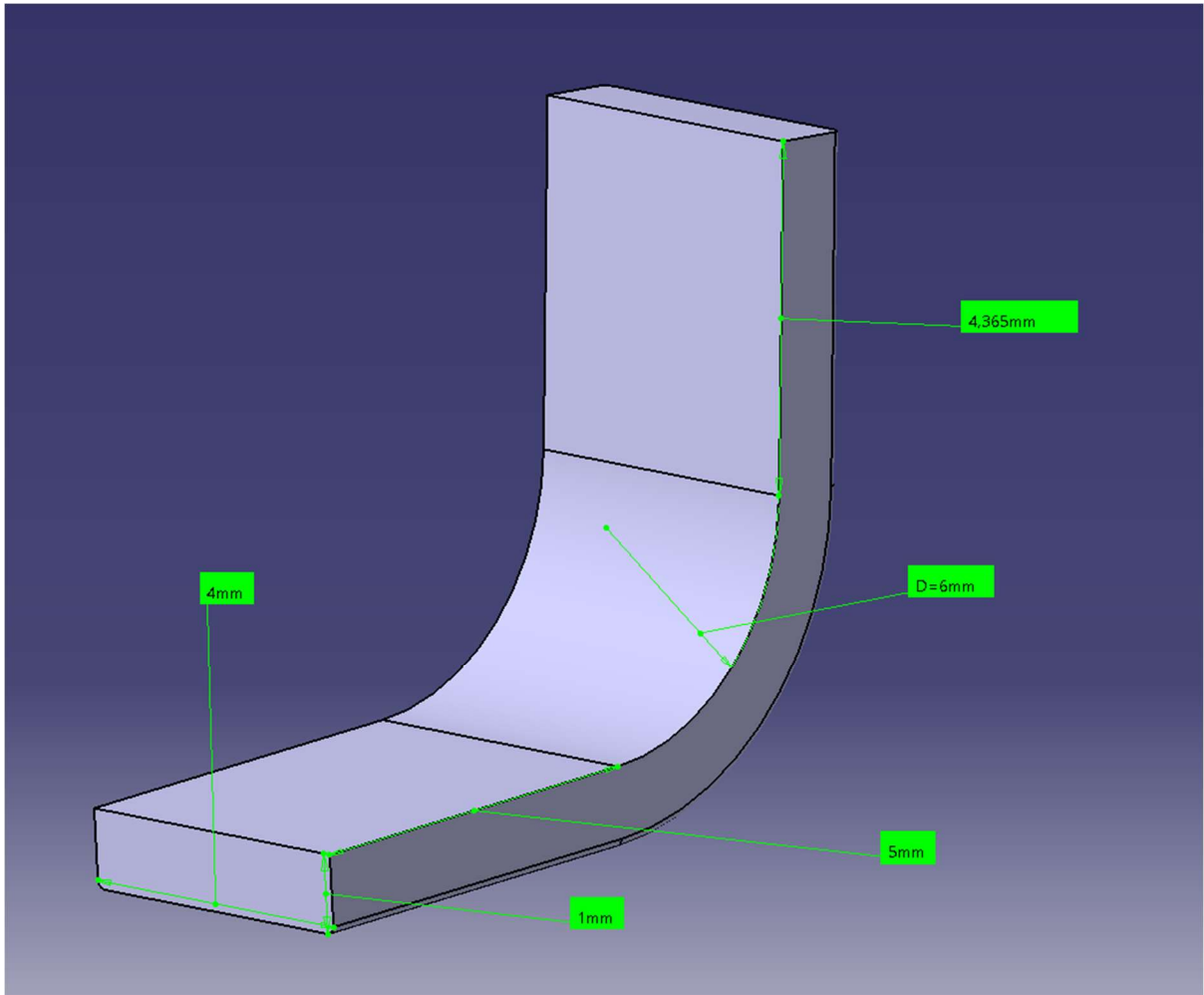
Figur A 8 CAD-Modell PCB BGA



Figur A 9 CAD-Modell Lödfog SMT

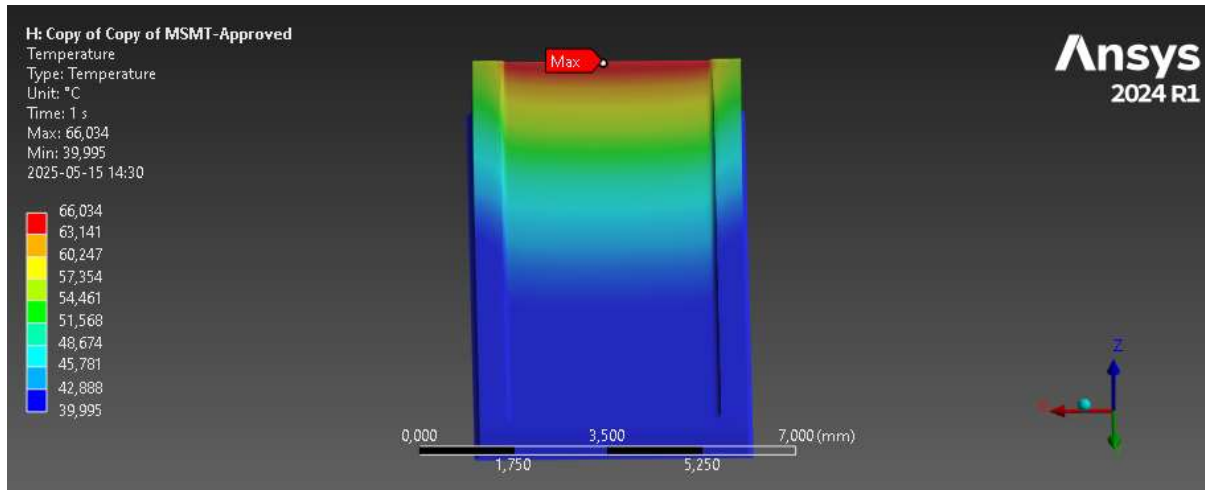


Figur A 10 CAD-Modell PCB SMT

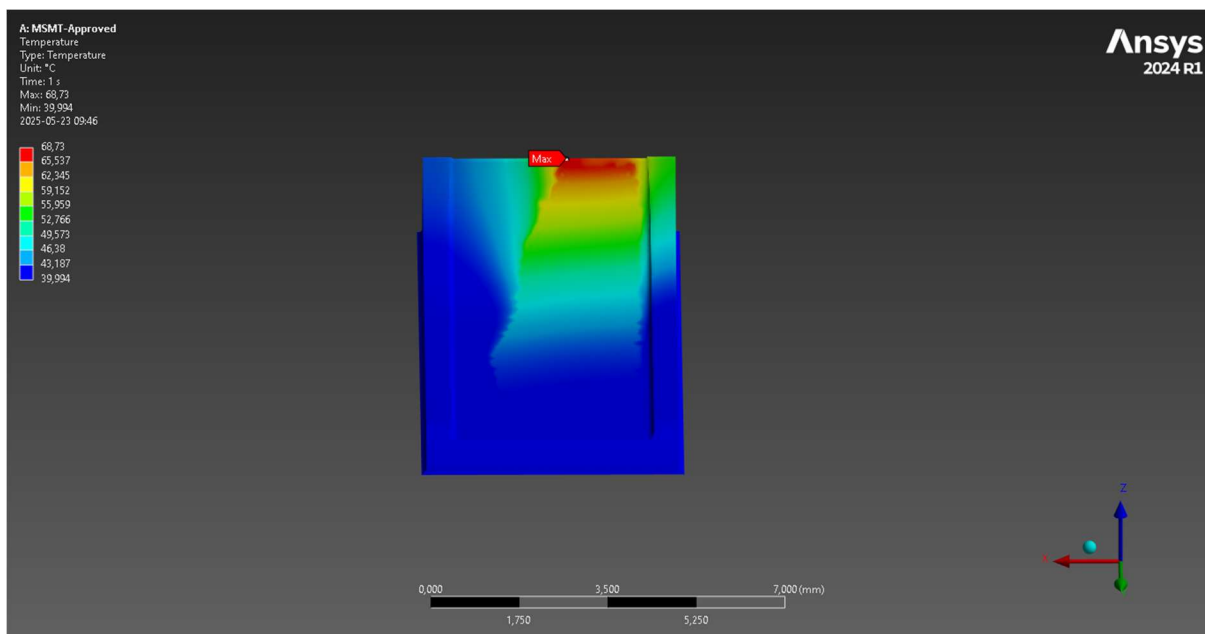


Figur A 11 CAD-Modell Komponent Ben SMT

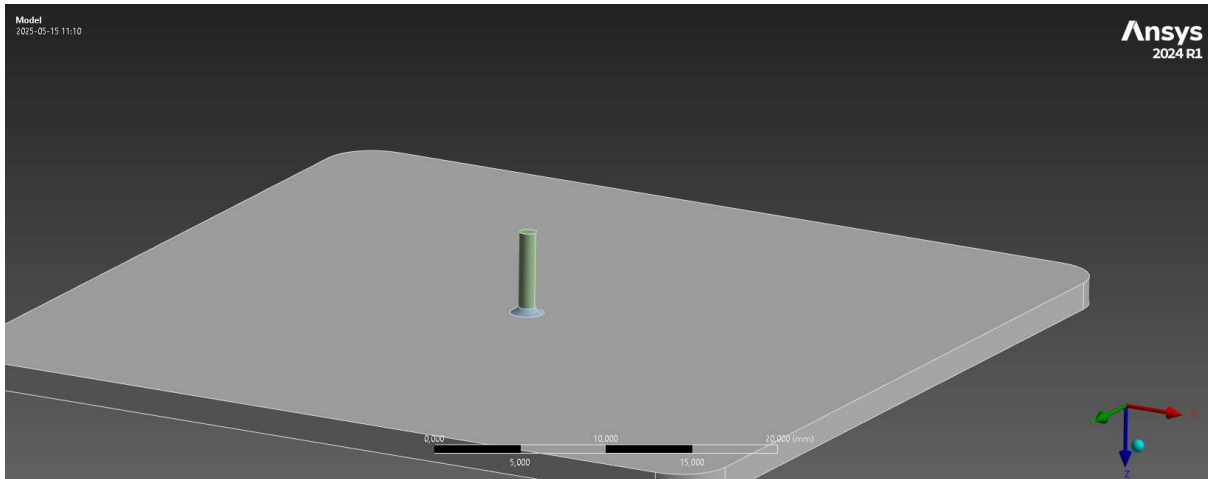
Bilaga B



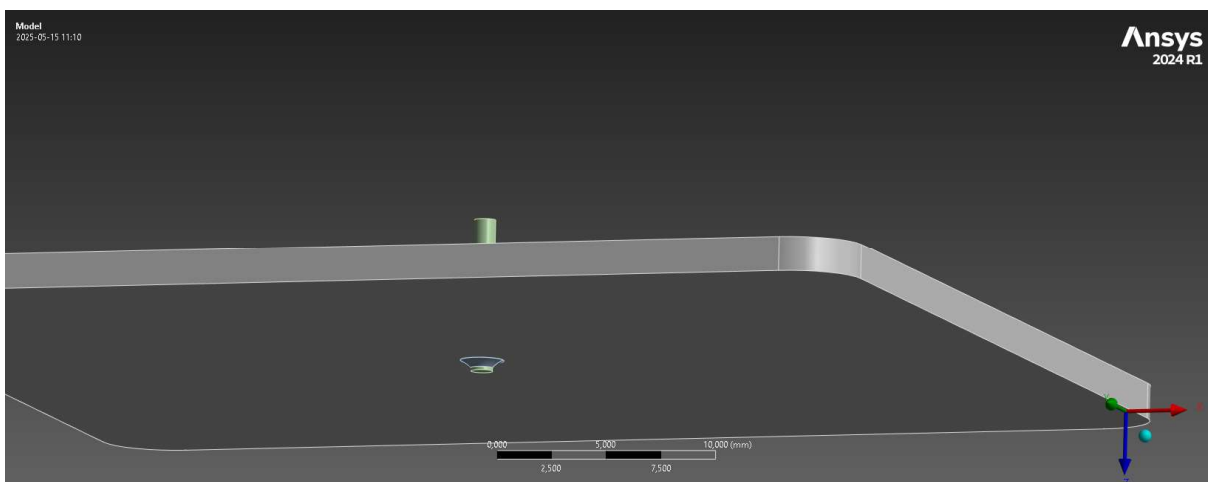
Figur B 1 Temperatur i lödfogen vid Termisk last



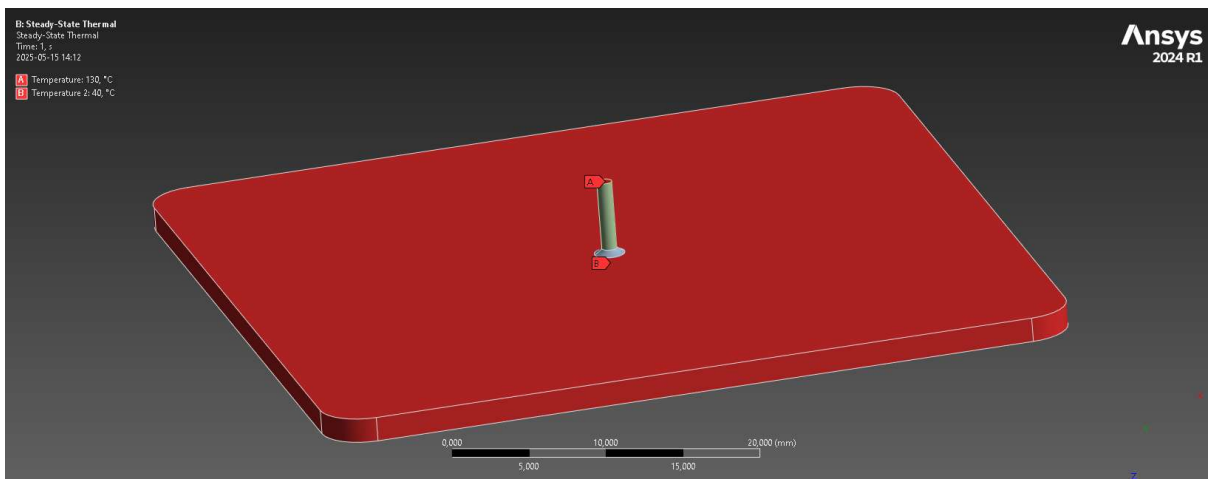
Figur B 2 Temperatur i lödfogen vid Termisk last (SMT Undekänd)



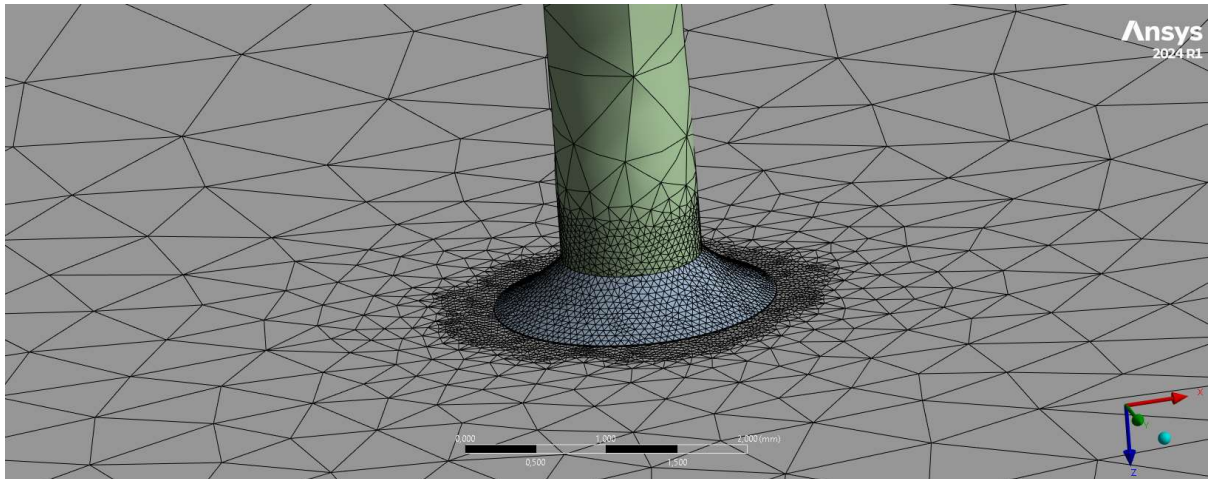
Figur B 3 THT- Ansys modell



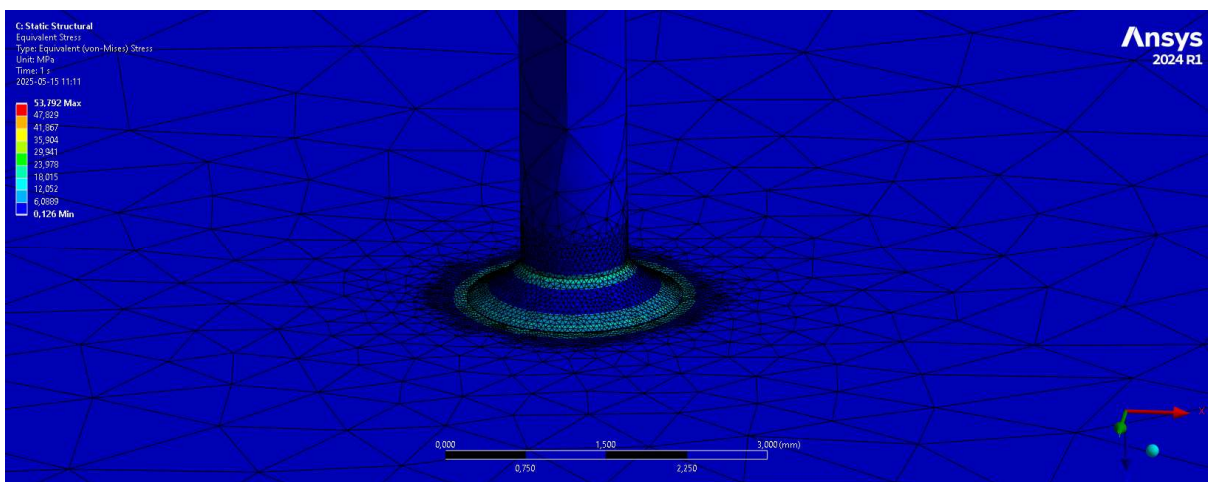
Figur B 4 THT- Ansys modell underifrån



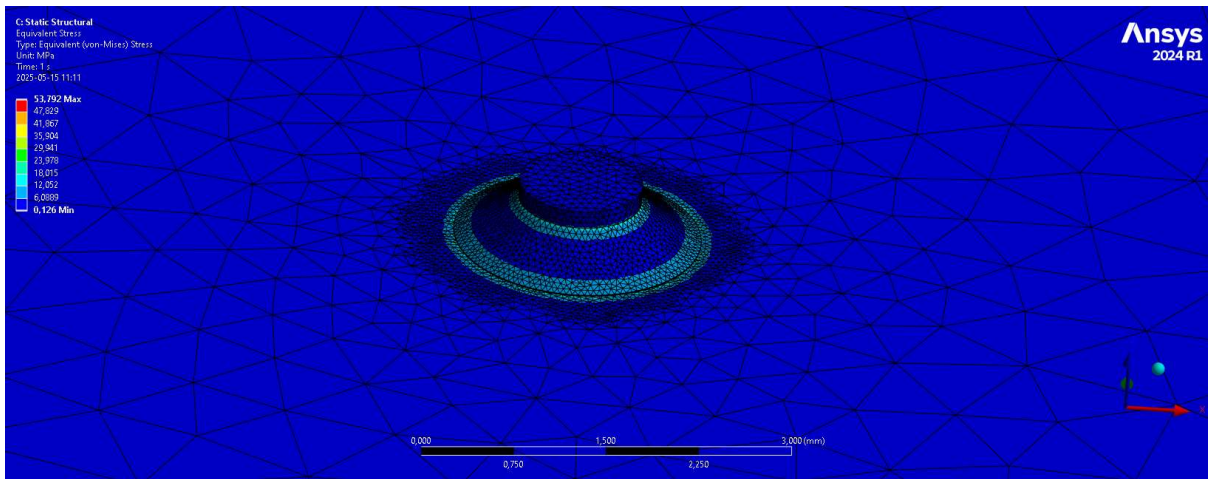
Figur B 5 Temperaturkällor THT



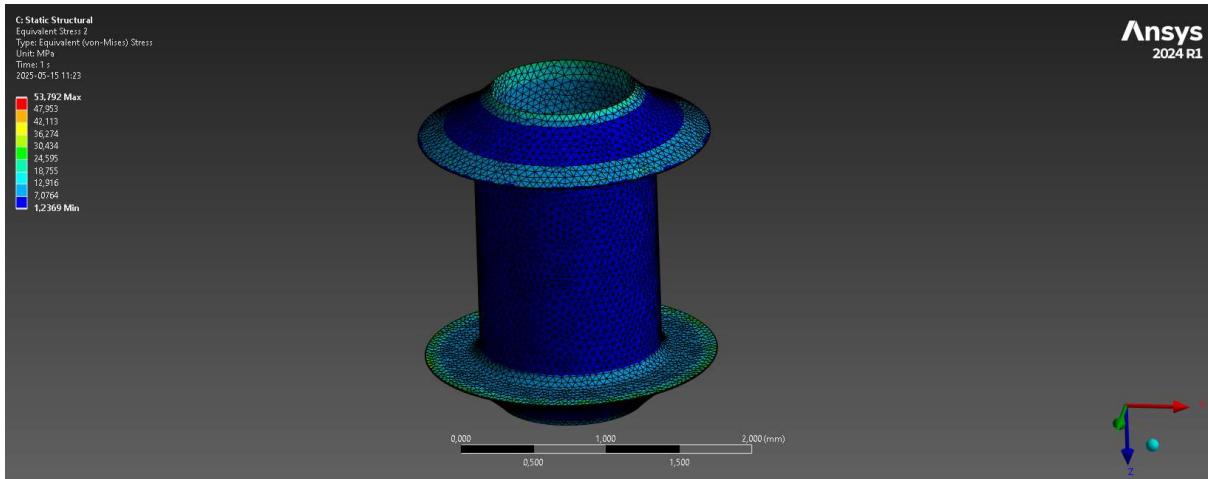
Figur B 6 Mesh THT



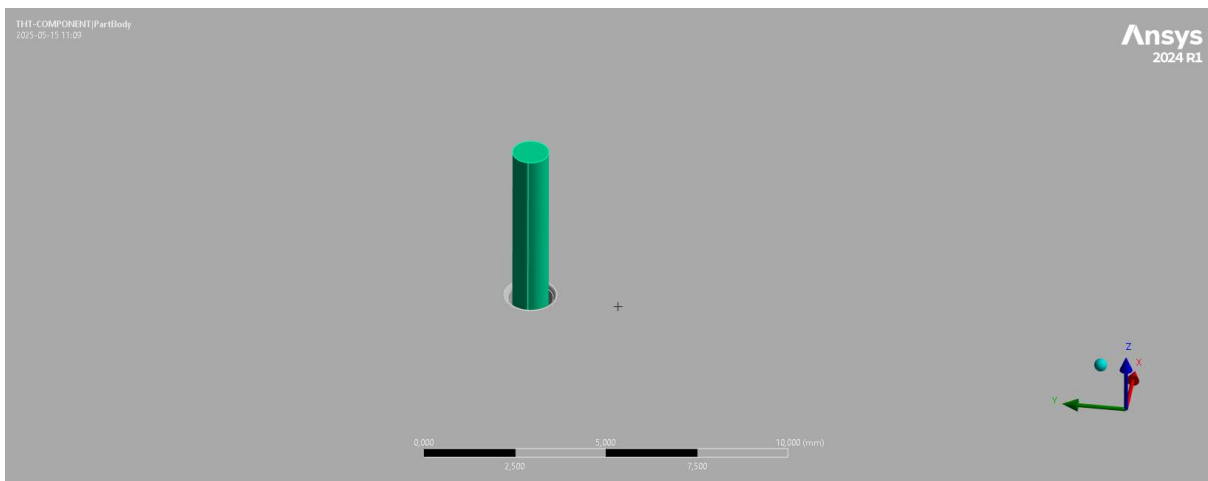
Figur B 7 Spänningar för kombinerad last THT Godkänd



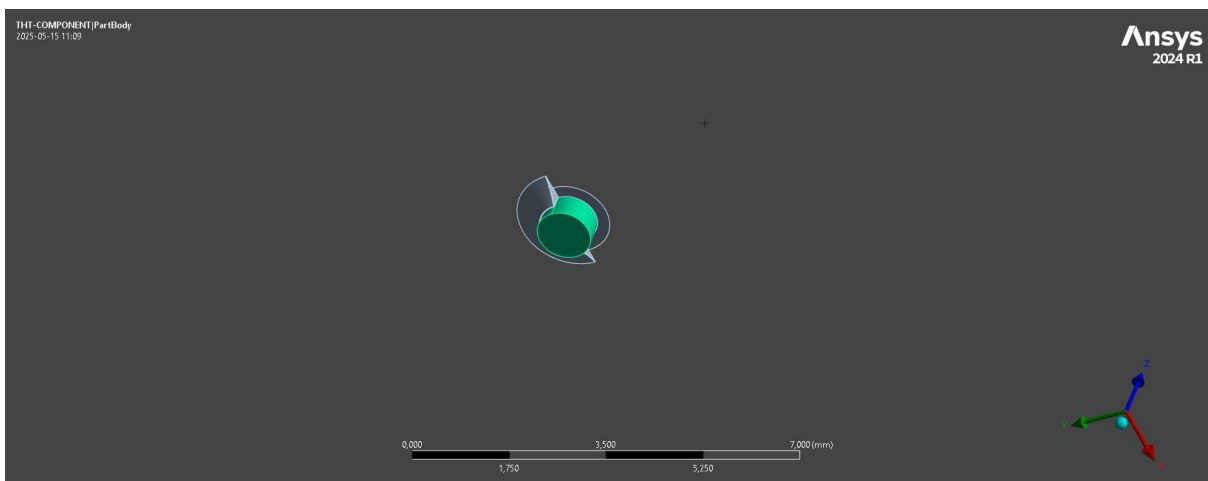
Figur B 8 Spänningar för kombinerad last THT Godkänd



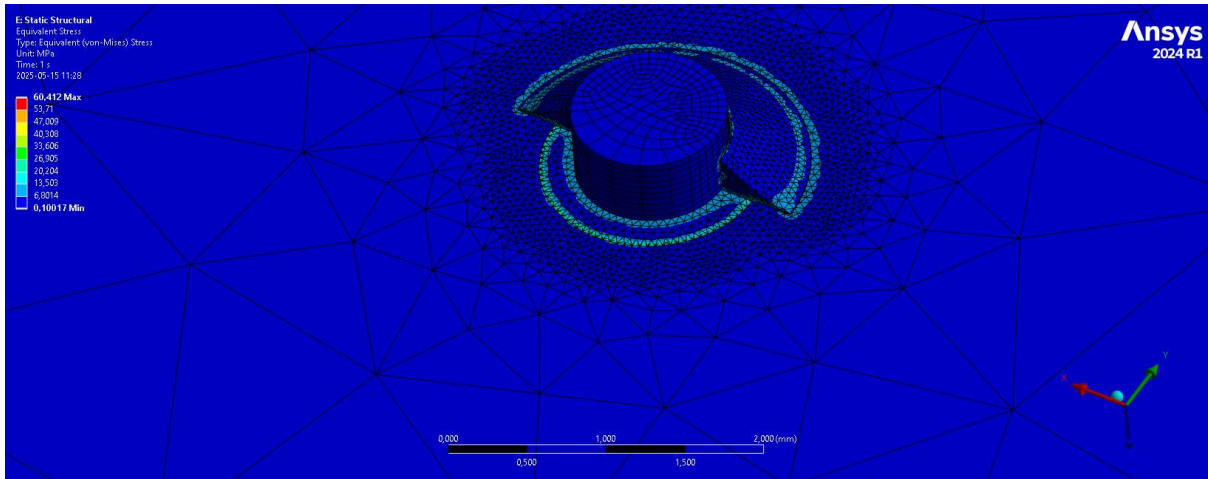
Figur B 9 Spänningar för kombinerad last THT Godkänd



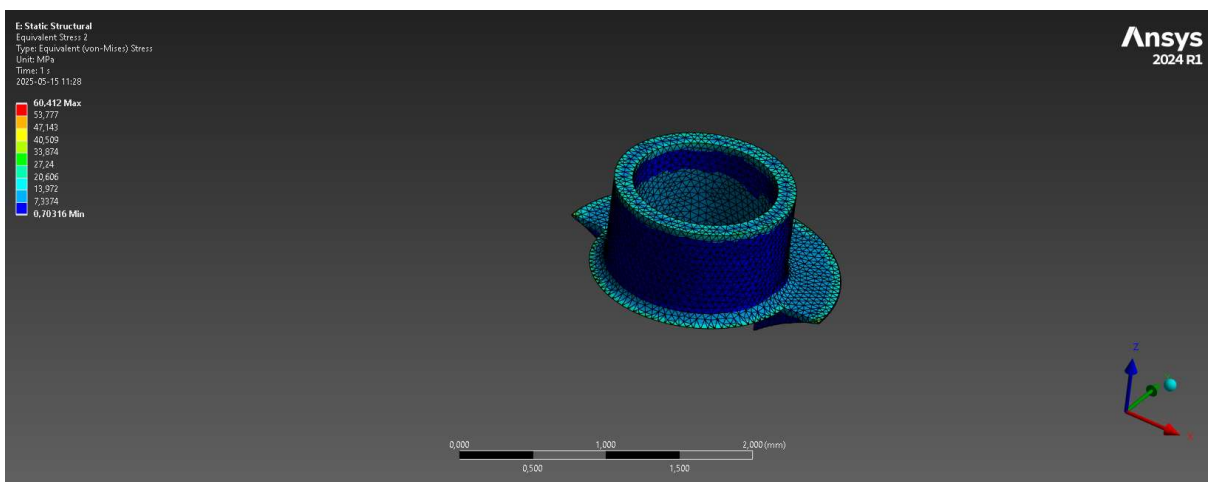
Figur B 10 THT Underkänd



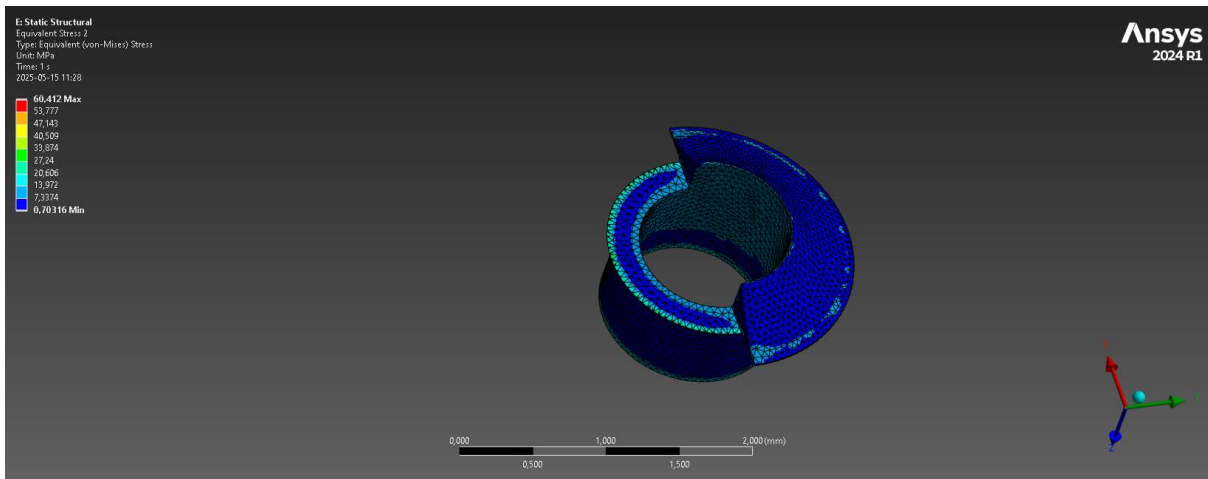
Figur B 11 THT Underkänd



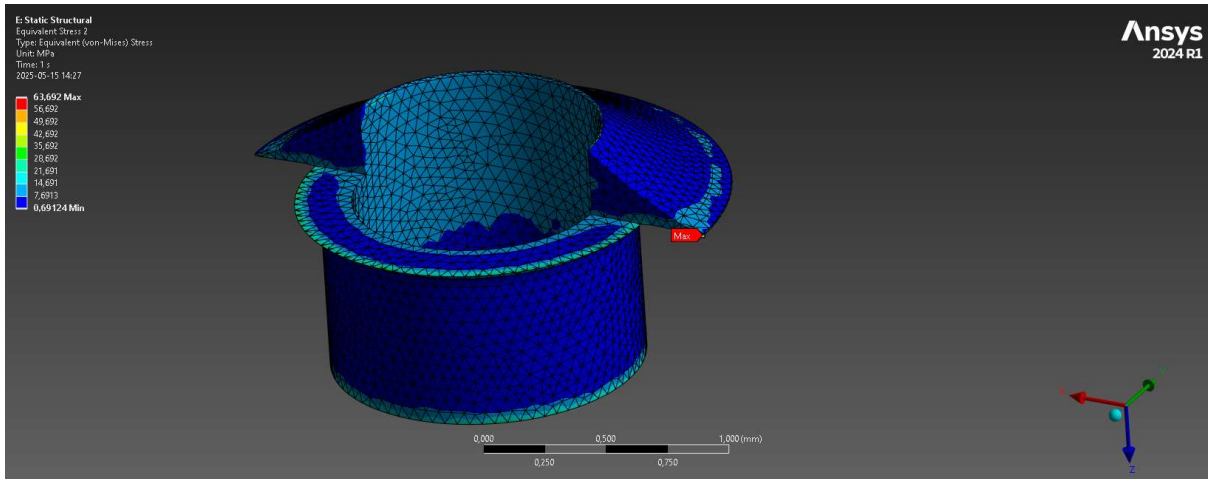
Figur B 12 Spänningar för termisk last THT Underkänd



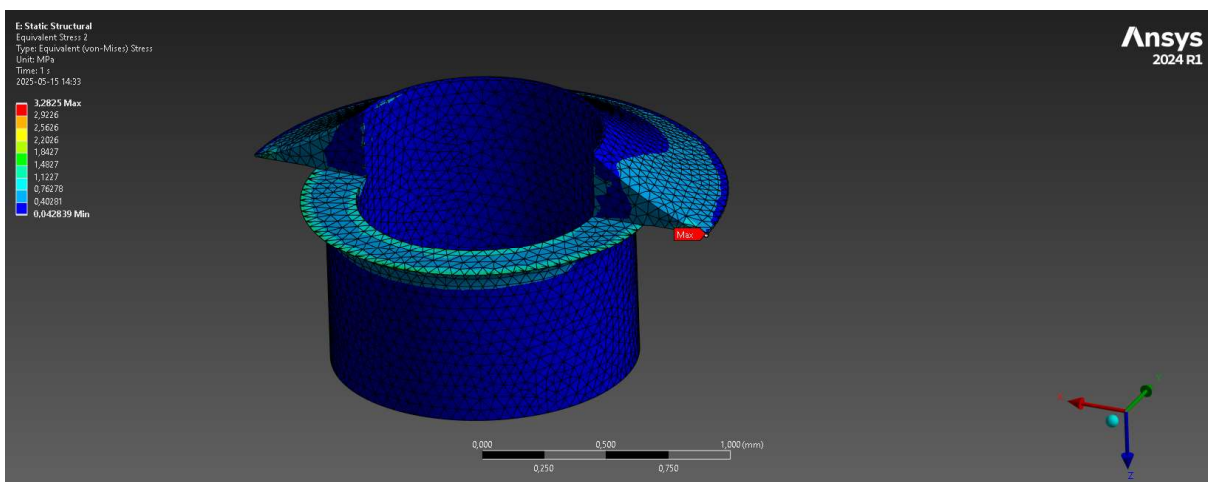
Figur B 13 Spänningar för termisk last THT Underkänd



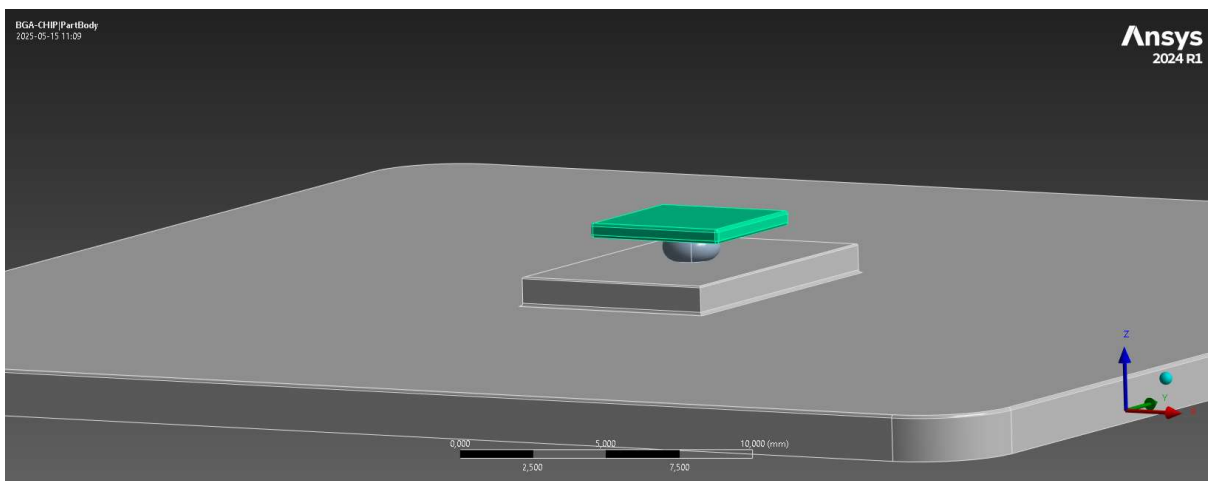
Figur B 14 Spänningar för termisk last THT Underkänd



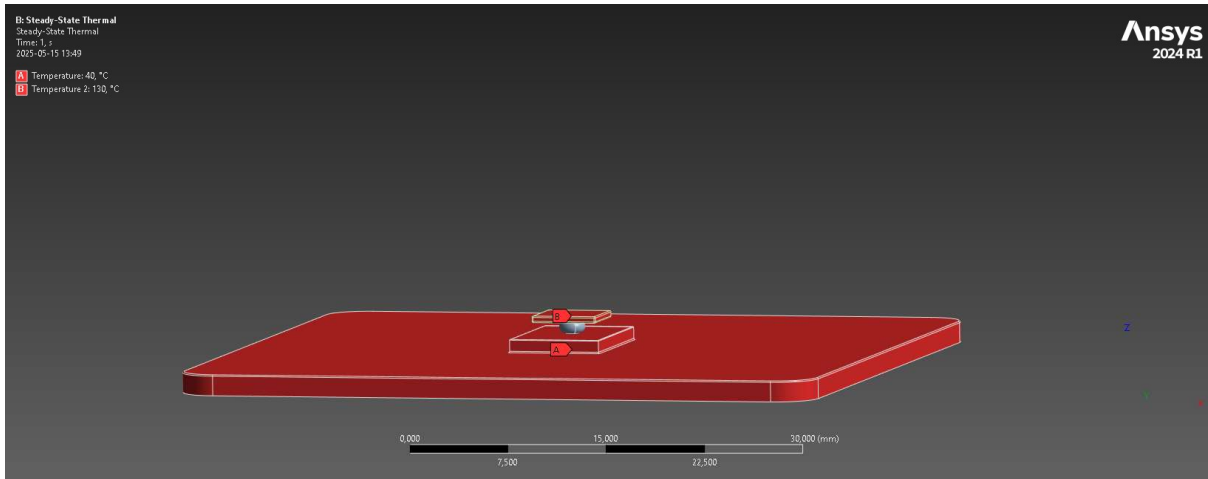
Figur B 15 Spänningar för termisk last THT Underkänd



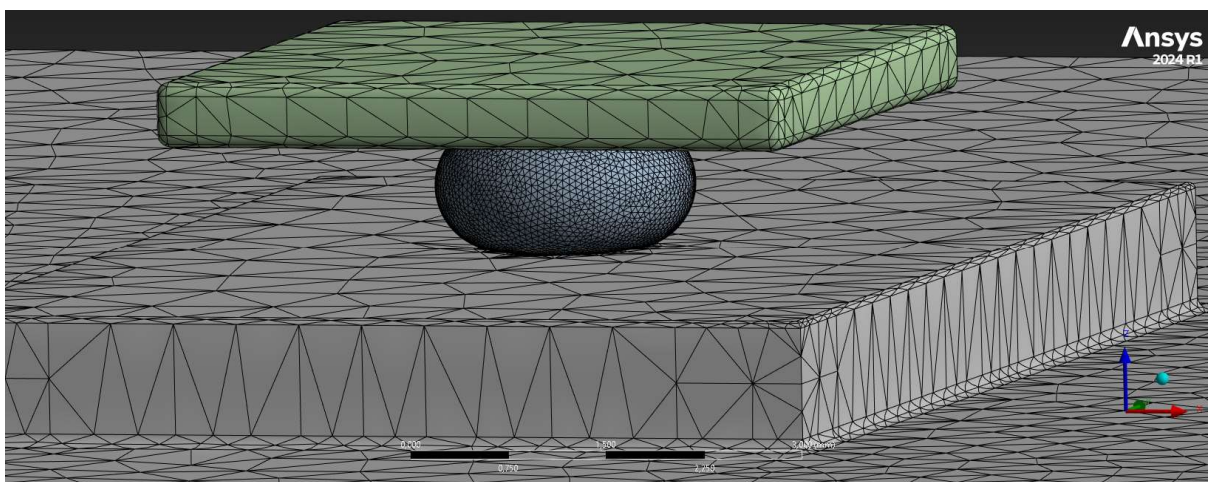
Figur B 16 Spänningar för termisk last THT Underkänd



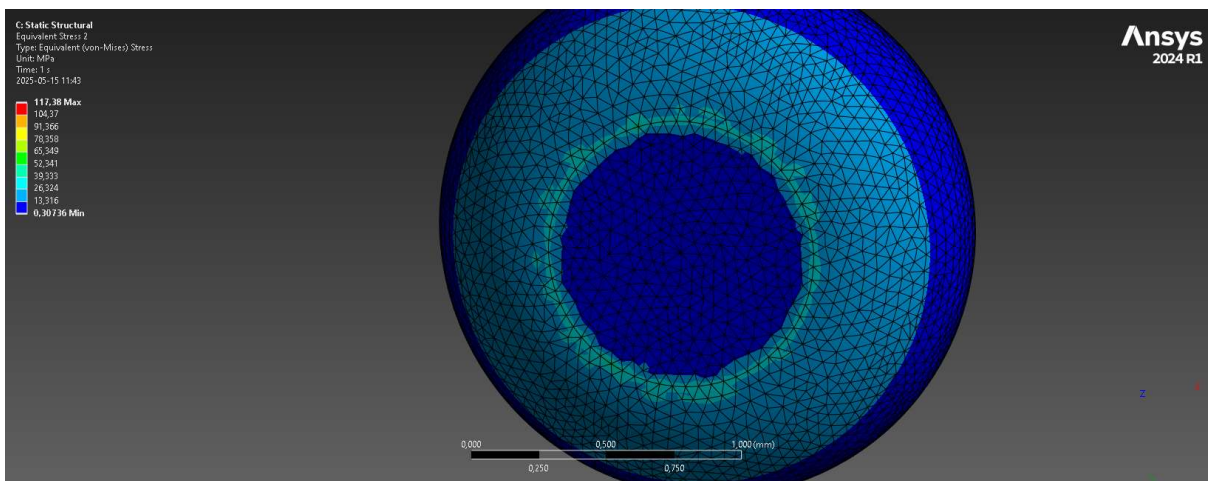
Figur B 17 BGA



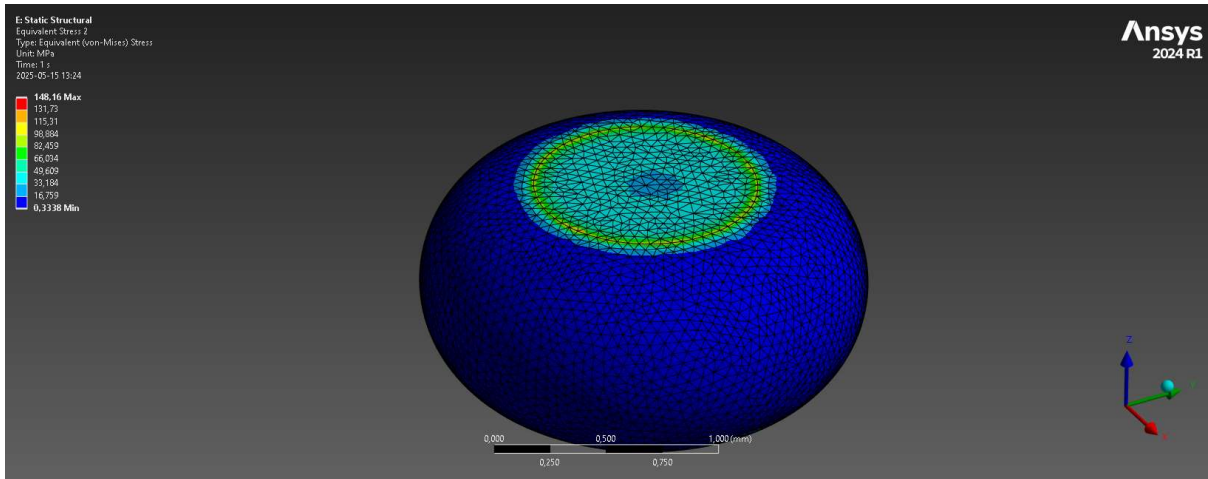
Figur B 18 Temperaturkällor BGA



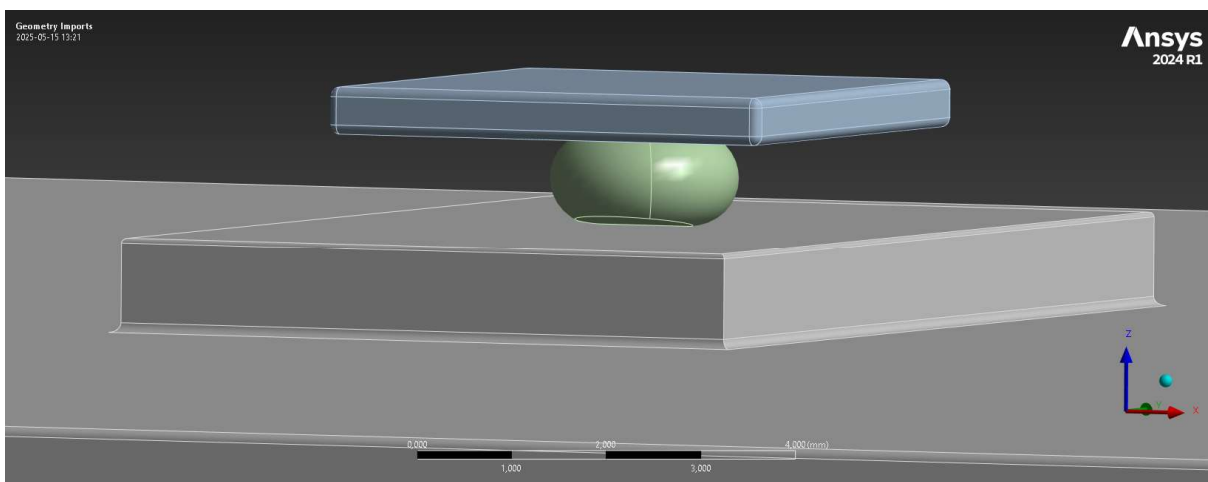
Figur B 19 Mesh BGA



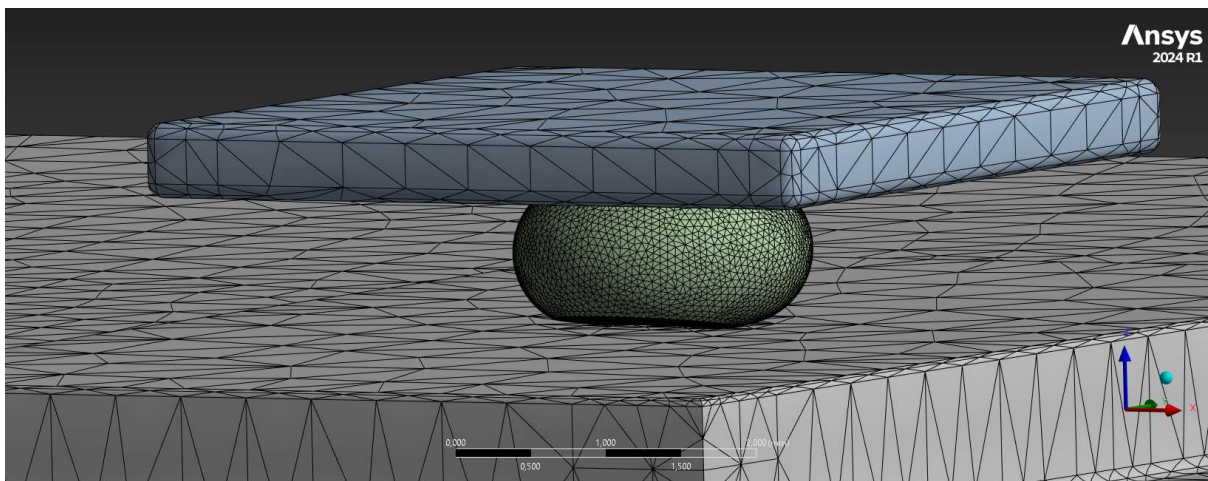
Figur B 20 Spänningar flr kombinerad last BGA Godkänd



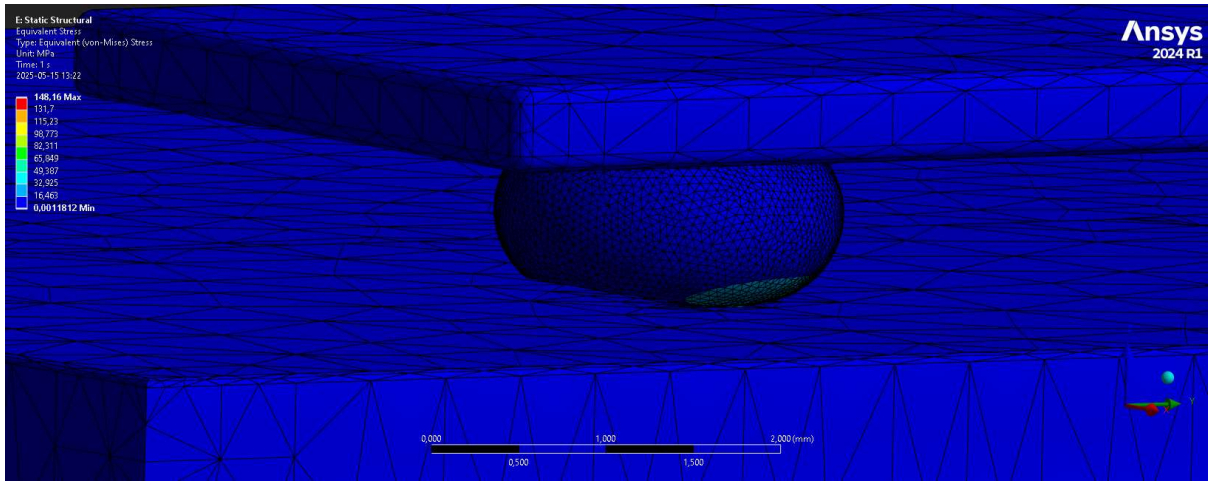
Figur B 21 Spänningar flr kombinerad last BGA Underkänd



Figur B 22 BGA Underkänd



Figur B 23 Mesh BGA Underkänd



Figur B 24 Spänningar för kombinerad last BGA Underkänd