

Först publicerad på
St Erikskonferensinstitut
Stockholm i januari 1990 (efter uppnådda 50 PPM 1989!)
Reviderad

FRÅN 45 000 PPM TILL 50 PPM

- 5.4 Sigma Level -

redan 1985-89

Garanterade mobiltelefonens innovationer i Sverige
© Civ ing Håkan Södersved

Nedan har redogjorts för ett praktikfall kring introduktion av ytlödning inom mobiltelefonsystem som kan vara till nytta för andra. Metodiken är generell om än det idag finns kunskap att hämta om ytmonteringen och dess konstruktionsregler. Man behöver inte starta på så höga PPM värden som pionjärerna under första delen av 80-talet. För dessa har ytmonteringen utgjort en jordenrunt-segling med svårtolkade sjökort i en skärgård med återkommande dimma. Idag börjar sikten vara god, men det finns ständigt grynnor att se upp för när nya byggsätt introduceras i en process. Detta måste ske redan på konstruktionsstadiet i form av byggsättskrav för att inte leda till för stora kostnader för tillverkare och kund.

Val av process och byggsättsstrategi

Vid övergång från hålmontering till ytmontering år 1985 fanns erfarenhet från hybridtillverkning och enstaka små tillämpningar i epoxykortbaserad ytmontering. Det fanns ännu ingen Prosam - standard, den första versionen utarbetades under våren 1985 genom konvertering av IPC:s lödtytor med tum-baserad måttsättning till mm. Vi byggde gemensamma Workmanshipstandarder. PPM Associates Inc samt Engelmaier Inc gav via EXPIRA AB stöd för olika byggsättsval i början av 90-talet på ett antal byggsättskonferenser..

Våglödningsprocesserna gav förr ojämna PPM-tal, men även de har kommit ner i 10 PPM-nivån hos de bästa. Dessa maskiner krävde god processkontroll - ett begrepp som knappt hade skapats då. Det togs två viktiga beslut i denna aktuella byggsättsstrategi:

1. Ingen våglödning av SMD - komponenter, endast Reflow
2. Ytmontering endast på den ena sidan av kretskortet

Processutveckling på prototypplina

En del provlödningar gjordes på testkort med Prosam-lödtytor. Denna CAD-utrustning var inte den samma som hos den layoutleverantör som gjorde de första verkliga produktlayouterna.

Vid dessa försök nåddes ca 1000 PPM kvalitet vilket tolkades som tillräckligt för att köra förserietillverkning. Min start av mätning av PPM vid denna tidpunkt betraktades av kolleger som ett skämt. Men för mig var det mycket djupt allvar - en utmaning för svensk elektronikindustri. Faktorförsök var inte kända vid denna tidpunkt. Viss variation av storleken på lödöar utfördes på testkortet.

Upptäckten av de första bekymren - jag startar PPM-mätning

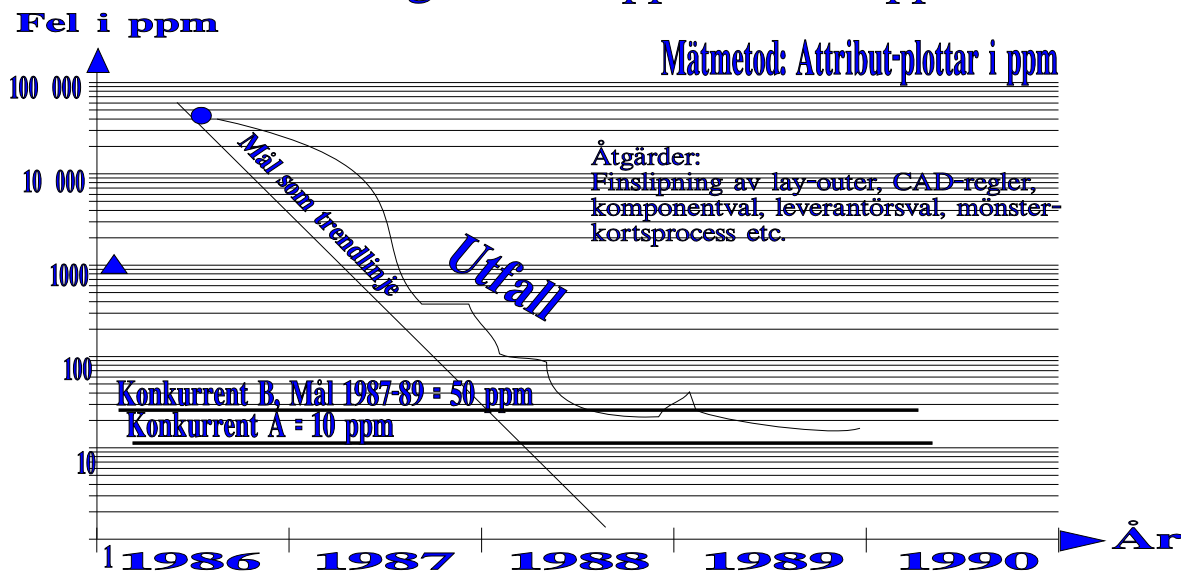
Vid provkörning av de första enheterna 1986 upptäcktes att verkliga felutfallet låg vid 45 000 PPM, dvs 45 ggr sämre än våra produktionstekniker hade räknat med. Murphys lag hade inträffat, dvs om något kan gå snett, så går det. Jag fick hjälp av ledaren Jim i produktionen och vi mätte PPM-regelbundet på samtliga moduler. Dessa PPM-diagram per modul sattes upp för konstruktörerna att begrunda och undra över.

Kvalitetsavdelningen satte samtidigt målet att halvera felen inom två år - vilken hög ambition! Vi som arbetade med lödprocessen och dessutom hade besökt Japan visste att detta inte skulle räcka. Det handlade om att förbättra flera 10-potenser! Alltså bytte jag från linjär skala till logaritmisk.

Jag ritade ett diagram med logaritmisk abskissa och linjär tidsaxel med start 1986 och slutade 1989. Vi ser nedan en principiell rekonstruktion av denna målbild. Den bör vara till nytta för var och en som ska förbättra sin process så snabbt som möjligt med Six Sigma-metoden.

Offensiv förbättring med **Six Sigma PPM-mätning** enligt japansk modell:

Målsättning 46 000 ppm till 50 ppm



© H Södersved SPSOH158.GED

De första CAD-layouterna, Prosam-reglerna

Mjukvarorna för CAD-layout var vid detta tillfälle mest anpassade för strikt manuellt arbete, medan de kraftfullare också kunde klara av autorouting. Detta blev vår första "grynna". Underleverantören som nyttjades hävdade att hans mjukvara omfattade lödytor för ytmontering, dessa modifierades så nära IPC/Prosam-normen som möjligt. Layouter gjordes löpande, prototyperna byggdes med handlödning och provades tills prestandakrav uppfyllts. Serieproduktion startades.

Först senare upptäcktes följande - för att autoroutern skulle kunna dra sin ledare mellan 0805-chippets lödytor behövde avståndet ökas. Operatören gjorde detta utan att veta bättre. Hur kunde han veta? Konstruktörerna tyckte att layouten var snygg och prydlig.

Följden blev höga frekvenser av "tombstoning" s.k. gravstenseffekt. Chippet väter olika snabbt beroende på värmedifferenser, vätdifferenser, läge efter montering och dragkraft pga ytspänning. Här fanns det minst 200 parametrar som samspelade i lödresultatet och utbytet från processen.

De beräknade Prosam-lödytorna blev bättre och bättre. Inga layoutstandarder kan idag överföras från en process till en annan. En överförd standard klarar inte bättre än ca 1000 PPM fel. Varje process måste optimera sina layouter på mönsterkortet. Avrundningsfel från måtten i tum till mm ledde till väsentlig påverkan på felutfall. De IPC-mått som gäller ska vara tillförlitliga att använda. Men ett gott råd: gör själv beräkningen i mm!

Torrfilmen 100 μ

Mönsterkortstekniken hade utvecklats positivt genom att kunna ersätta screentryckt isolationslack - det sk gröntrycket - med torrfilm. Den applicerades med vacuum på mönsterkortet, öppningarna fotoetsades fram. Denna s k torrfilm var "endast" 0,1 mm tjock. Detta var inget problem med hålmonterade komponenter. Gröntrycket hade dålig kantprecision. Idag är torrfilmen tunnare, ca 20 μ .

Vid studier av lodpastans beteende hade man kommit fram till att om den deponerades 200 μ tjock på mönsterkortet blev den i smält tillstånd ca 70 μ tjock, ca 35 %. Dessutom gick lod åt vid vätningen. Metallinnehållet i pastan påverkar denna krympning. Detta innebar att chippet teoretiskt sett kunde hänga kvar på torrfilmen utan att väta. En del tillverkare förbjöd placering av torrfilm mellan lödytor under små motstånd och kondensatorer. De undvek denna felorsak.

Risken med detta var att korrosionsrester blev kvar under chippet och kunde leda till strömläckage under fuktiga driftförhållanden.

Styrhålen för hålmontering och ytmontering

Man borrade styrhål i borrarprogrammet med de övriga hålen. På detta sätt fick man en god noggrannhet vid automatmonteringen av hålkomponenter.

Detta var den enda kända metoden för styrhålstagning. Det blev en överraskning för monteringspersonalen att mönsterbilden kunde avvika ända upp till 200 μ från hålbilden. Mönsterkortspersonalen visste om detta, men antog att det var tillräcklig precision. Hur kunde de veta?

Man kom snart fram till att man behövde optiskt registrerade styrhål. Dessa blev inte heller tillfredsställande, då de lämnar koniska öppningar. Fortfarande, år 1995, går mönsterkort i elektronikprocesser med borrade styrhål för styrpinnefixering vid lodpastatryckningen.

Man började använda digitala kameror vid monteringen, s k kallad bildstyrning (vision), för att korrigera offset i mönster-, mönsterkortsläge och eventuell filmdeformation vid mönsterkortstillverkning. De mest avancerade tillverkarna har idag adaptiva optiska centreringssystem även för lodpastaappliceringen med statistisk uppföljning.

Styrpinnar i fixturmaterial

Dimension på styrpinnar rekommenderas av olika tillverkare. En svensk tillverkare använder magneter med flexibel positionering. Den sistnämnda är lämplig för mindre företag med små batchar och många ställ. Magneterna har dock en tendens att inte hålla kortet på plats och monteringsprecisionen blir lidande av detta skäl. Andra skäl är att operatören inte trycker till magneterna tillräckligt vid varje körning. Mönsterkortets frästa kant behöver inte vara så lika från batch till batch heller.

För att en fixtur ska kunna ta upp toleranserna vid längdutvidgning pga temperatur bör ena styrhålet vara runt och det andra avlångt. Detta ökar glappet vid fixturering mot styrpinnar.

Avlånga hål är svåra att borra eller fräsa med optisk registrering av mönstret och bibehållen god precision. Man har i stället valt att använda runda styrhål men göra ena styrpinnen elliptisk. Precisionen i båda fallen är undermålig för ytmontering utan bildstyrning.

Floran av styrpinnar har varit ett svårlöst problem. Men det underlättas väsentligt om man kan ha samarbete med en maskinleverantör, Deming punkt 4: Single Source.

Toleranskedjan som inte klarar ± 3.0 -sigma

Om man ägnar ett par timmar för att med minsta kvadratmetoden beräkna totalspridningen för screentryckning och ytmontering utan bildstyrning (Vision Control), kommer man fram till att processen teoretiskt sett är oduglig dvs. $C_p < 1,0$.

De huvudsakliga spridningarna är mönsterregistrering och filmkrympning på mönsterkort, längdvariation på keramiska chip, fel i lödyornas utformning i Prosam, CAD-bibliotekens begränsningar vad gäller upplösning och måttsättning i tum resp. mm, fotoplotterns aperturbibliotek, styrpinnarnas glapp vid screentryckning av lodpasta samt montering av chip, komponentens lägesvariation på monteringsmunstycket, förflyttning pga acceleration under monteringen m fl parametrar.

Kör man en Monte Carlo-simulering på dessa spridningar blir processkapabiliteten väsentligt mindre än $C_p = 1,0$.

Därför har bildstyrningen av screenappliceringen av lodpasta, korrigering av komponentläge på monteringsmunstycke och registrering av mönsterläge för varje mönsterkort eller delyta blivit nödvändigt för högvolymtillverkare. Denna metod kortar ned toleranskedjan till den minsta möjliga för varje processteg. Vi får en adaptiv korrigering t o m på delytor av mönsterkortet. För att underlätta detta placeras nya styrmärken ut med jämna mellanrum på mönsterplattan.

De bästa maskinerna har idag en "processröst" (*Voice of the Process*) på ± 3 -sigma $< 50 \mu$, vilket ger ± 6 -sigma kapabilitet för toleransfönstret $T=100 \mu$, $C_p = 2.0$. Om processpendling på $\pm 1,5 \sigma$ enligt Motorola-konceptet skall tillåtas blir $C_{pk} = 1,5$. Sigmavärdet i detta läge är $s = 8 \mu$.

Mönsterkort i leveransämnen eller kort för kort

Det har visat sig rationellt att satsa på leveransämnen av mönsterkort så långt som möjligt i en automatiserad produktion. Det utnyttjar processbredden maximalt, man får färre ställ, fastare toleranskedjor dvs. bättre processduglighet.

Diskreta fixturer för mönsterkort eller leveransämnen leder till mera glapp och slitage pga återanvändning. Leveransämnesramen som håller ihop de enskilda korten är en engångsprodukt. Kostnaden för överbliven bärare är minimal i förhållande till den nytta ramen ger i form av standardhantering, stabilitet, ESD-skydd mm. Laminatkostnaden kan skattas till några kronor per dm², även för multilayerkort.

Mekanisk böjning av kretskort

Ett dubbelsidigt mönsterkort levereras med ca 1 % böjningsradie. För Fine Pitch-mönsterkort krävs < 0,5 % vid mindre bendelning än 0,65 mm. Vid hantering och IR-lödning av det monterade kortet är det svårt att behålla denna radie. I början tilläts inte mer än 3 % i radie, då det fanns uppenbara risker för sprickor i chippens lödfogar vid montering av kretskortet i apparaten eller systemracken. Dessa är vanligen konstruerade med planera fästpunkter.

För Fine Pitch-kretsar är inte sprickor så överhängande pga gullwingbenens elasticitet. Kretsarnas bentspret i horisontal och vertikal led gör att lödningen kan vara bristfällig pga dess magra karaktär. Om mönsterkortets radie lever för mycket under livscykeln kommer lödförbindningen att "krypa ur" pga dess plastiska karaktär.

Nytt rekord: 50 PPM (*Sigma Level = 5.4*) tack vare SPC

Det var en segerkänsla att få mönsterkort med optiskt etsad våtlack 25 µ tjock som förbättring gentemot 100 µ torrfilm. Resultat bättre än 50 PPM lödfel uppmättes 1988. Vi närmade oss världsmästarna. Tyvärr hade också de hunnit bli bättre under tiden.

Men in på 90-talet visade det sig att svenska fabriker (Ericsson) låg bättre till än amerikanska tillverkare i kvalitet. Samma signaler syntes också bland CAD-louther som jämfördes mellan tyska CAD-företag och svenska motsvarande. Den svenska mönsterkortskulturen har tack vare dessa intensiva jämförelser av PPM-tal lett till en allmän finslipning av mönsterkortsregler. Seminarier i Fine Pitch har ordnats vid några tillfällen av Expira med Phil Marcoux som föreläsare. Motsvarande har Werner Engelmaier, den andra kunskapsleverantören till Expira inom elektronik, föreläst om lödpunkternas tillförlitlighetskonstruktion, sk Figure of Merit.

SPC-metodiken har visat sin överlägsenhet som gemensam arbetsmetod mellan produktionsteknik, mönsterkortstillverkare, konstruktörer och CAD-operatörer. Den har använts med framgång även på kritiska komponenter, mätningar i provningen med kritiska toleranser etc. Inom ABB Industrial Systems, nuvarande Flextronics International, fick strecktablåtillämpningen ett genombrott i början av 90-talet, när Expira gav utbildning i SPC, JIT och Demings principer för kvalitet. Kvalitetskritiska kretsar upptäcktes snabbt. Dåliga komponenter avlägsnades ur sortimentet. Maskinoperatörerna fann detta verktyg tillräckligt enkelt och snabbt. Besvärliga komponenter/leverantörer sållades bort och maskinerna sänkte drastiskt sina PPM-tal.

Orderstyrd produktion, icke prioriterad reparation

Orderstyrd produktion krävdes under 80-talet i de flesta företag pga den svenska verkstadsredovisningen. Detta i kombination med varierande utbyte i processerna gjorde PPM-mätningar till ett svårt konststycke. Variationen kunde ibland vara större i underlaget än i kvaliteten. Man tvingades approximera flödet genom en process baserat på den totala volymen. Antalet fel per enhet per mätperiod försvårades om utleveranser prioriterades före reparation av svåra fel. Detta gav statistiken större variationer än den i verkligheten var fallet. Om batchstorlekarna inte var standardiserade var variationen ännu större.

Demings kriterier för en stabil och instabil process kan inte tillämpas förrän man kan tillämpa ren JIT-flödesproduktion och prioritera reparationer enligt principen First In-First Out.

Mängden lod per lödställe inte definierad

Det gjordes statistiska försök bl a på Hewlett Packards produktionslab i USA. Dessa utmynnade i en optimering av lodmängd per lodpunkt och löduttag. Tyvärr blev inte dessa resultat kända i Sverige. Samma arbetsmetodik har av undertecknad använts vid optimering av IR-lödning av TAB 0,5 mm pitch. Vid sådan utprovning måste man använda flerfaktorförsök, SFP. Nu finns programvaror DOE-PC I för Windows som själv genererar matrisen baserat på inmatade antalet faktorer, störfaktorer, antal nivåer, linjär eller olinjär respons. Godhetstal på matrisen anges. Samspel kan läggas till eller tas bort. MINITAB kan ge förslag på klassiska försöksmatriser.

Slutsats om tillförlitlighet

Ytlödningar är tillförlitliga så länge de är stressfria och temperaturväxlingarna är måttliga, helst < 70 deg C. Stresskomponenter finns kvar så länge mekanisk påkänning förekommer i form av vibration och böjning av kretskort. I synnerhet långsam temperatur- och effektcyklning kortar livslängden. Här hänvisas till W Engelmaiers Figure of Merit metodik (Expira).

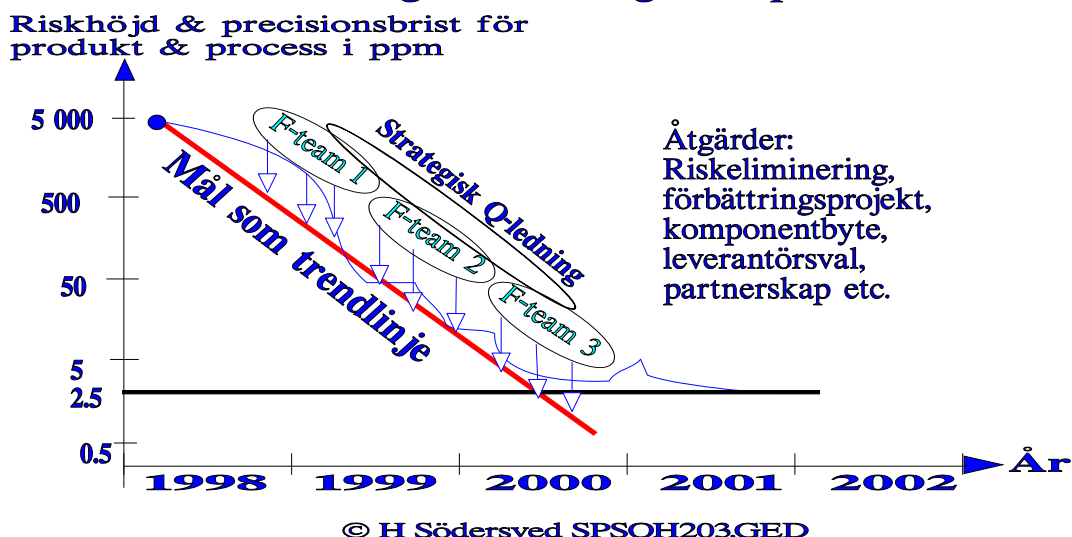
Kapselvalet är avgörande för tillförlitligheten. Måsvingeben är att rekommendera. Gömda lödställen under komponenten är svåra att processtyra därför att man inte kan föra styrdiagram. Ball Grid Array-kapseln tillhör denna kategori. Lödpunkten syns ju inte. PLCC-kapseln visar tillförlitlighet om benen är plana och lödningen lyckats med säkerhet. Men detta vet vi inte, J-benet kan "stjåla" lodpasta från lödstället. PLCC-kapseln förbjöds som konstruktionsval redan i slutet av 80-talet pga dess högre felfrekvens, men den lever kvar ännu av olika kommersiella skäl.

Benlösa chip bör ha elastiska lödpunkter med *stand off* som kan ta upp påkänningar vid temperatur-, kraft- och effektcyklning samt mekaniska påkänningar.

Retorisk antites till denna utveckling i Norden

Vad hade hänt om fabriker för mobiltelefonsystem hos Ericsson och Nokia hade fortsatt att tuffa på i nivån 10000 PPM fel i produktionen några år till? Produkterna hade dämts upp i fabriksgångarna och inga årliga volymdubblingar hade kunnat äga rum. Hur skulle världsmarknadens uppdelning mellan Japan, USA och Europa ha sett ut tio år senare?

Kontinuerlig förbättring mot precision



Förbättringsteamerna på konstruktionsavdelningen på Ericsson Radio Systems i Kista gjorde grovjobbet 1986-88 (=BlackBelt Design For Six Sigma) för att uppnå 5.4 SIGMA

I Vällingby 2011
Håkan Södersved
Lean Six Sigma Utbildare
EXPIRA Lean Six Sigma

PS. Hjälp för optimalt elektronikbyggsätt finns att få via http://www.expira.se/robust_elektronik.html.

© 2011 Expira, Stockholm, Sverige
[\[Till startsidan\]](#)