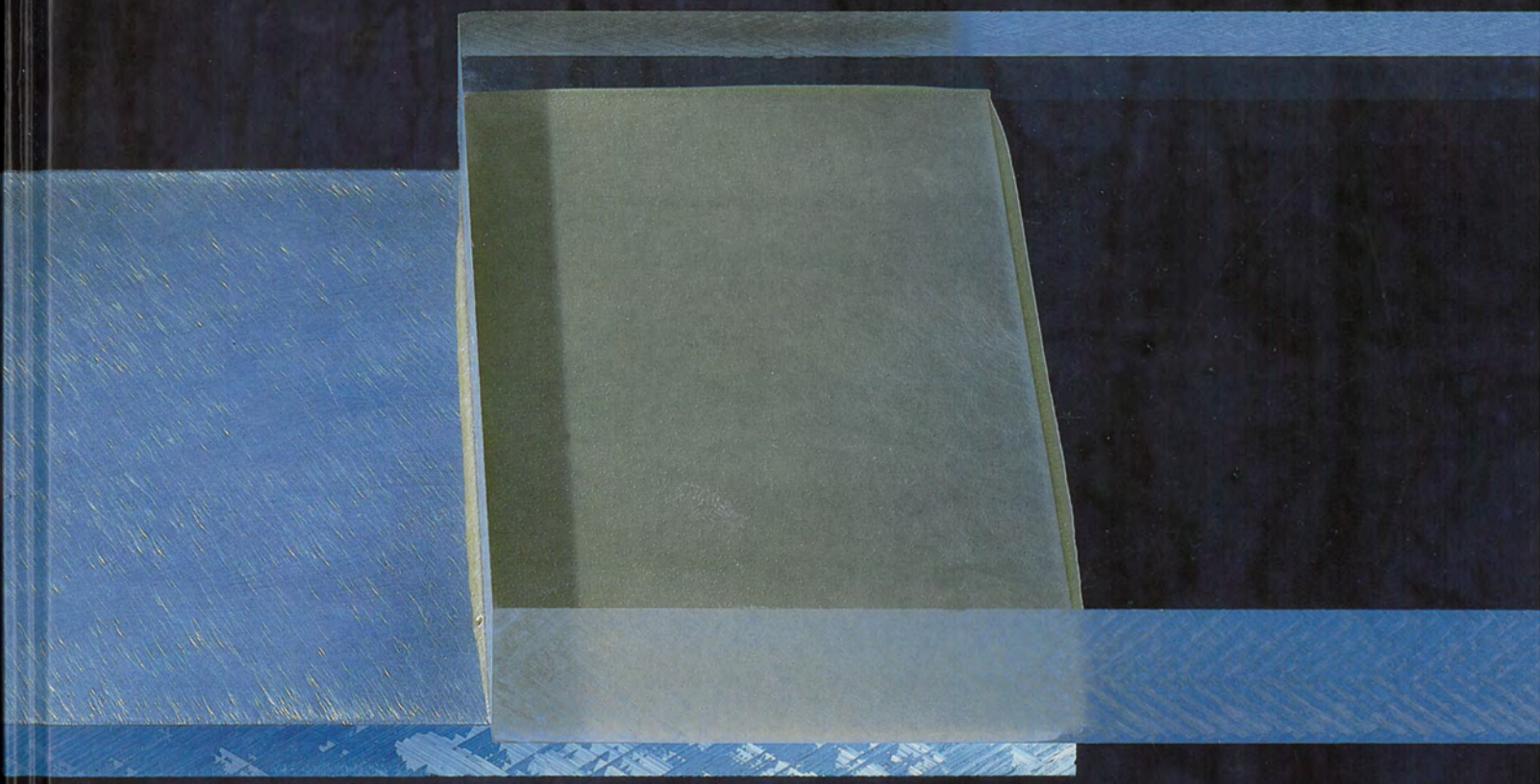
Limhandboken



Casco Nobel

PRODUKTION:
WERNE/MCCANN AB, MALMÖ.

FOTO:
GUNNAR NYDRÉN, LASSE DAVIDSSON, RENE BURRI MAGNUM,
RICK TOMLINSON SKÄRGÅRDSBILD.

ILLUSTRATÖR:
SVEN-ERIK LARSSON, WERNE/MCCANN.

REPRO:
REPROFORUM, HELSINGBORG.

SÄTTNING:
MALMÖ-TYPOGRAFEN AB.

TRYCK:
AB BOKTRYCK, HELSINGBORG.

BOKBINDERI:
FORSBERGS BOKBINDERI AB, ESKILSTUNA.

TYPSNITT:
TIMES.

PAPPER:
130 G MATT SILVERBLADE.

© 1991 Casco Nobel AB, Industrilim.
La Cours gata 4, 252 31 Helsingborg.
Tel. 042-24 40 60. Fax 042-24 40 64.
ISBN 91-630-0608-1

Mångfaldigande av innehållet i denna bok,
helt eller delvis, är enligt lagen om upphovsrätt
av den 30.12.1960 förbjudet utan medgivande
från copyrightinnehavaren.
Förbudet gäller varje form av mångfaldigande genom
tryckning, kopiering, bandinspelning, etc.

Inledning.

Modern limteknik är ett stort och intressant teknikområde, som gör det möjligt att sammanfoga olika material.

Området växer i takt med att utvecklingen inom industrin går mot allt mer avancerade konstruktioner i olika materialkombinationer. Men kunskaperna om hur man hittar rätt lim och limningsmetod är inte tillräckligt spridda för att den moderna limteknikens potential ska utnyttjas på bästa sätt.

Denna kunskapsbrist har givetvis många orsaker, inte minst avsaknaden av utbildning i limningsteknik vid våra läroanstalter. Det finns heller ingen institution som arbetar med limning — och ingen professur i limningsteknik.

Behovet av kunskap ökar dessutom i takt med att limmen blir mer kvalificerade och konstruktionerna allt mer avancerade.

Vi har därför samlat våra kunskaper i denna Limhandbok för att i någon mån fylla den stora kunskapslucka som finns, både hos nuvarande och blivande användare.

Boken behandlar främst limning av metaller, plaster och andra homogena material. Men många av avsnitten är av så grundläggande karaktär att även de som limmar porösa material, tex inom trä- och förpackningsindustrin, har glädje av att läsa boken.

Vi hoppas att vårt initiativ skall bidra till utvecklingen inom industrin och stimulera industridesigners, konstruktörer och produktionstekniker till utformning och framställning av nya produkter med nya materialkombinationer i rationell produktion.

Casco Nobel
Industrilim

Innehåll.

Limningsteknik — en mycket kort sammanfattning. 7
Hur väljer man lim? 11
Olika lim — hur fungerar de och vad är de lämpliga för? 15
Varför går det att limma? 33
Behöver ytorna vara rena? 39
Vågar man lita på limmade fogar? 45
Hur gammal kan en limfog bli? 47
Limning av metall. 55
Limning av plast och gummi. 63
Hur bör man utforma limfogen? 67
Limningsarbetet steg för steg. 75
Behövs presstryck? 85
Rumstemperatur eller värmehärdning. 87
Är lim farliga? 89
Kan man prova den färdiga limfogen? 93
Utrustning för dosering, blandning och applicering. 97
Vad kostar det att limma? 104
Litteraturförteckning. 106
Några ordförklaringar. 107
Underlag för kravprofil för limmad konstruktion. 108

Limningsteknik – en mycket kort sammanfattning.

Limning kan liknas vid lödning, hårdlödning och svetsning. Den stora skillnaden är att tillsatsmaterialet (lodet) vid limning är en plast i stället för en metall. Limning kan vanligen också ske utan att materialet värms upp.

Avståndet mellan molekylerna i materialet som skall limmas och limmets molekyler får vara högst 5 ångström för att någon kraftöverföring skall kunna ske (1 Å = 0,000 0001 mm, dvs en tiomiljondels millimeter). Limmet måste väta ytan för att denna kontakt skall uppstå. Limmet kan bara väta ytan om det har lägre ytspänning än den yta som skall limmas. (Detta gäller också för lodet vid lödning.) Limmet måste också stelna till ett material som kan överföra laster.

Lim kan indelas efter sättet de övergår från flytande till fast form:

- *Torkning,* lösningsmedel eller vatten avdunstar.
- *Avkylning* (som tex smältlim).
- *Härdning* (kemisk reaktion som ger större molekyler).

Härdning kan ske vid:

- Blandning av två (eller flera) komponenter
- Uppvärmning
- Miljöförändring, som tex:

Fukt	Syrefrånvaro
Ändrat pH-värde	UV-ljus

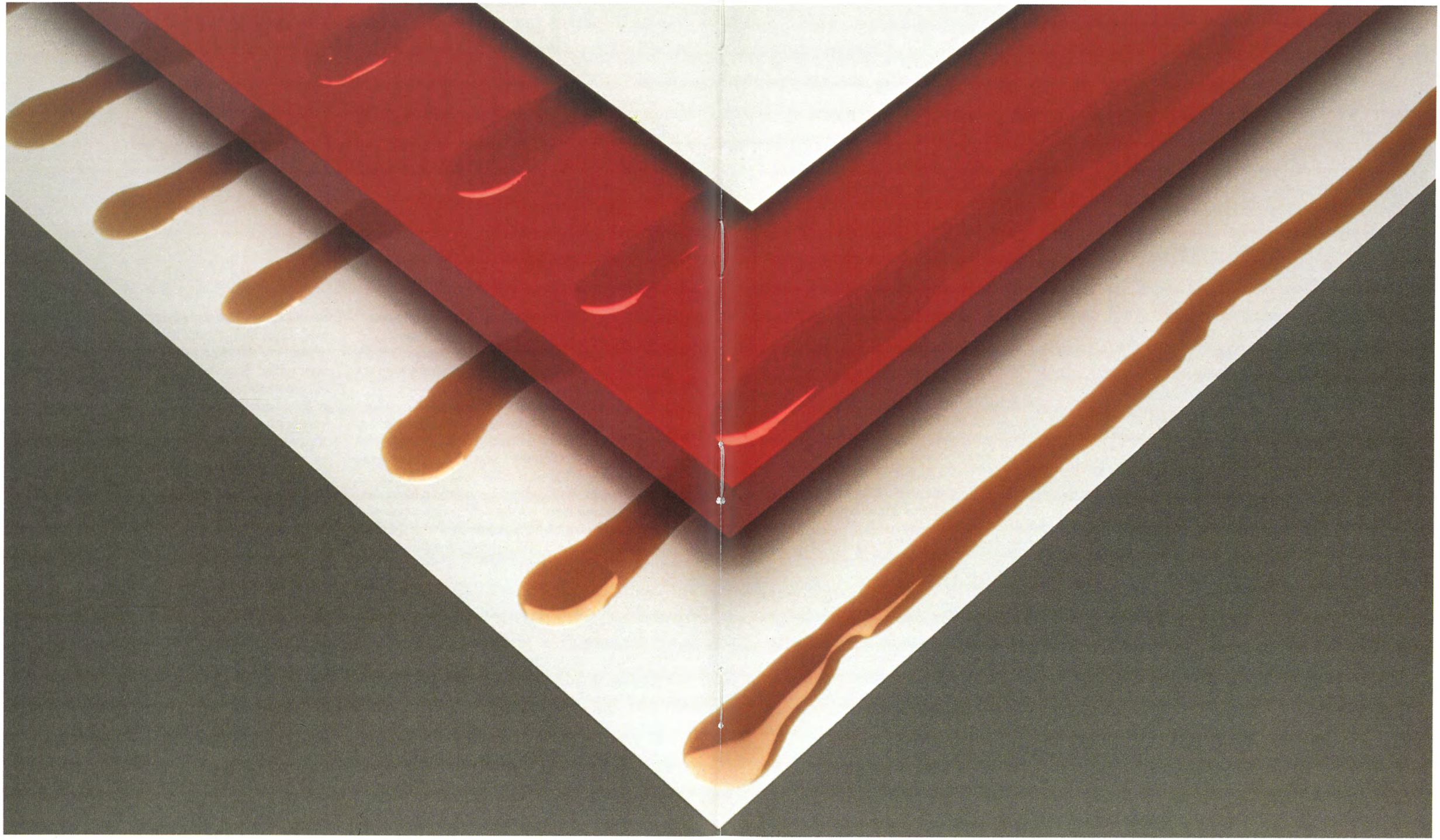
Beroende av vilka molekyler som kommer i kontakt med varandra i gränsskiktet material — lim, uppstår bindningar som kan vara olika starka. Om vätning skett (vilket är nödvändigt för kontakt) blir föreningen mellan lim och material starkare än det svagaste materialet (något av de limmade materialen eller limmet). Alla bindningstyper är dock inte så energirika att de kan motstå påverkan av ett annat medium, tex vatten.

Alla plaster (= lim) är mer eller mindre viskoelastiska. Detta innebär att de ur belastningssynpunkt är mer påverkbara av tid och temperatur än tex metaller.

Kryphållfastheten för ett lim är i hög grad temperaturberoende. Termoplastlim påverkas mer än härdplastlim.

Gör man ett försök att gradera limmen efter deras lastbärande förmåga med avseende på temperatur och tid kan uppställningen se ut som på sidan 10. Stora skillnader finns dock inom varje grupp och överlappningar kan förekomma. Lim som är praktiskt användbara i temperaturer över 300°C är sällsynta. De lim som härdas utan värmetillskott kan sällan användas i temperaturer över 100°C. (Undantaget silikon som kan brukas vid 200—250°C). En relativt snabb utveckling av keramiska lim som klarar betydligt högre temperaturer sker dock.

Oberoende av hur starka lim man använder blir hållfastheten aldrig större än styrkan hos de ytor man limmar emot. Man måste alltså känna till egen-



Limsträngar i kraftig förstoring. Avståndet mellan limsträngarna är bara 3 mm, så att limmet blir heltäckande när ytorna läggs samman.

Svagast (mjukast)

↑

- Tejp
- Termoplastiska smältlim
- Termoplastlim (torkande)
- Elastomerer (syntetgummi)
- Något tvärbundna elastomerer
- Fukthärdande smältlim
- 2-komponent, rumstemperaturhärdande lim
- Miljöhärdande lim
- 1- och 2-komponents värmehärdande lim
- Härdlimfilmer

↓

Starkast (hårdast)

skaperna hos de ytor man limmar emot, och ibland också förändra dem, för att vara säker på limningsresultatet.

Långtidshållfastheten för en limfog är i hög grad beroende av egenskaperna hos de limmade materialen.

Vid limning mot metaller är långtidshållfastheten beroende av hur välfyllda ytprofiler som kan åstadkommas och/eller hur beständiga och hållfasta oxider metallen har.

Dåligt fyllda ytprofiler ger utrymme för vatten, som kan ge upphov till gränsskiktskorrosion. Vid användandet av högviskösa lim och härdlimfilmer kan det vara lämpligt att mätta ytan med en lågviskös primer för att uppnå både god initialhållfasthet och långtidsbeständighet.

Hur väljer man lim?

Tyvärr väljer man oftast inte lim, utan blir glad om man hittar något som duger. Gärna vill man att limleverantören tar hela ansvaret för limfrågorna. Det är ju limmet som skall hålla ihop bitarna.

"Om det inte fungerar så är det limmets fel." Visst kan man resonera så, men då har man avstått från att påverka egenskaper hos sin egen produkt, och man tar en ganska stor risk.

Det bästa är att man tänker igenom limfrågorna och verkligen gör ett limval — i slutändan gärna tillsammans med limleverantören. Som hjälpmedel finns även dataprogram för limval.

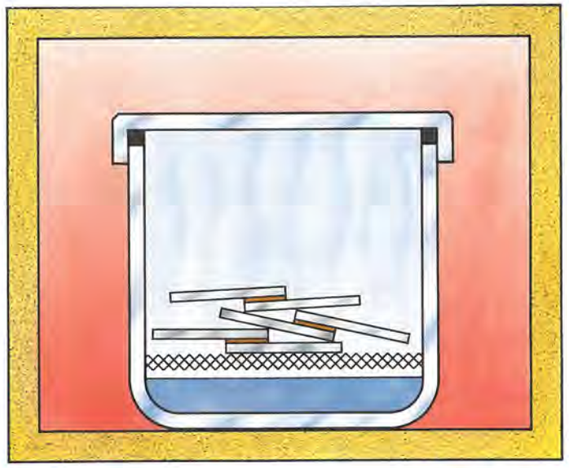
Det finns två huvudkrav på limmet:

- Limfogen skall hålla.
- Limmet skall gå att använda.

Ser man på den första punkten så blir följdfrågan: "För vad?" Det är bra att sätta upp en kravprofil för limfogen. Innan man börjar tänka på epoxi, polyuretan, cyanoakrylat eller andra limtyper, bör man göra klart för sig själv (och limleverantören) vad man behöver för egenskaper hos limfogen, för att se om man överhuvudtaget kan använda lim.

Detta kan man göra genom att svara på följande frågor:

- Vilken är den högsta användningstemperaturen?
- Vilken är den lägsta temperatur som konstruktionen kommer att utsättas för? (Man bör inte glömma bort transport vintertid.)
- Utsätts fogen för vatten, lösningsmedel eller andra kemikalier? Vilka?
- Vilken last skall fogen överföra?
- Hur belastas fogen: Drag, skjuv, klyv eller fläklast?
- Vilken frekvens har belastningen: Vibration, slag eller kryplast?
- Är belastningen kontinuerlig, pulserande eller växlande?
- Skall fogen vara tät?
- Skall fogen vara övermålningsbar?
- Kommer fogen i den fortsatta tillverkningen att utsättas för påkänningar som kan äventyra hållfastheten?
- Kommer belastning, miljöpåkänning och hög temperatur att uppträda samtidigt?
- Finns skillnader i längdutvidgning?
- Kan något av materialen som skall limmas innebära svårigheter, dvs:
  - Påverkas av användningsmiljö?
  - Vara svårlimmade?
  - Kräva speciell förbehandling?
- Ger svaren på ovanstående frågor en antydan om vilka materialegenskaper limmet bör ha: Plastiskt — Elastiskt — Hårt?

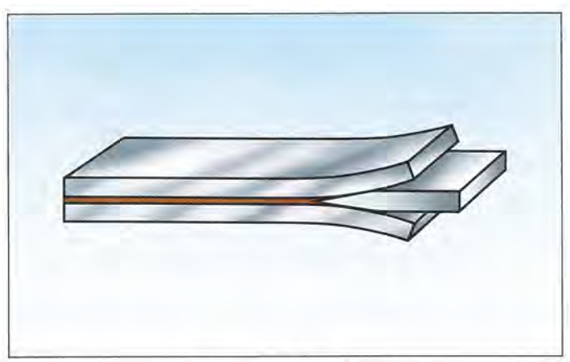


Provning i 100% relativ luftfuktighet.

Det är inte alltid man finner ett lim som med säkerhet uppfyller alla kraven i kravprofilen. Man kan bli tvungen att göra provningar. Ställer man frågan: "Vilket är det värsta man kan tänka sig att utsätta limfogen för?" så får man ofta en antydan om vad som bör provas. Fläkpåkänning när det är kallt (då många lim blir hårdare) kan vara ödesdiger. Långvarig belastning i en och samma riktning i värme (då många lim mjuknar betydligt) kan vara en annan svår påkänning. Vet man att limfogen kommer att utsättas för fuktig miljö, ger provning i luft med 95—100% relativ fuktighet vid temperatur 50—60°C en mycket snabbare påverkan än nedsänkning i vatten.

Ett sådant prov är mycket enkelt att genomföra:

Ta en burk med tättslutande lock. Häll i vatten (5—10 mm), lägg i provbitarna så de är ovanför vattenytan och ställ burken i värmeskåp. Resultatet visar sig ofta inom några dagar. Provet är mycket lämpligt om man limmar mot metaller som skall användas utomhus under lång tid. Detta för att hållfastheten beror mer på förändringar hos metallen än hos limmet. Se vidare under *"Limning av metall"* och *"Hur gammal kan en limfog bli."*



Principen för kilfläkprov.

Den sammansatta (synergistiska) påkänningen av belastning, miljö och temperatur ger en större belastning av limfogen än varje påkänning för sig. När man provar ska man därför helst prova "allt på en gång," om det finns utrustning för detta ändamål. För den som inte har tillgång till sådan utrustning finns det enklare provmetodik, t ex kilfläkprovet.

Man limmar samman två bitar så att de överlappar varandra helt. För aluminiumfogar användes 3 mm materialtjocklek. Efter att limmet har härdat ut fullständigt pressar man in en liten kil i fogens ena ände. Vanligen spricker då fogen upp en kort bit. Sprickiängden märkes av på provbitens kant med en rits. Dessa provbitar förvaras sedan i luft med 95—100% relativ fuktighet vid 50—60°C. Under spänning växer då sprickan troligen längre. På detta sätt kan man jämföra olika lim och förbehandlingar. (På metaller som kan oxidera kan man förvänta sig att sprickan förflyttar sig från limmet till metalloxiden och att sprickan blir relativt lång.)

De provlimningar, hållfasthets- och miljöprovningar man genomför bör man helst utföra *innan*

man slutligen väljer konstruktionsmaterial och fogutformning.

Det är lämpligt att skaffa material- och limprover redan då man börjar fundera på att limma en konstruktion. Genom tidiga, enkla provningar får man en god uppfattning om vad limning kommer att innebära. Det är bättre att upptäcka eventuella svårigheter tidigt i projektet, än när man börjat producera.

Låt oss anta att vi hittar ett lim och en förbehandling som ger ett tillfredsställande resultat. Vi har då kommit till den andra punkten: "Limmet skall gå att använda"!

Lämpligen tar man hänsyn till detta redan då man tittar på hållfasthetsfrågorna. Ett intimt samarbete mellan konstruktion och produktion är en förutsättning för ett lyckat resultat. Låt gärna skyddsombudet bli invigd i limplanerna i projektets början, så han/hon får tid att skaffa faktaunderlag kring limarbete.

Konstruktören vill ha ett lim som blir så starkt som möjligt — produktionsansvarig vill ha ett lim som är enkelt att använda och inte medför några problem.

Alla sätt att limma är varianter eller kombinationer av så få som tre funktioner.

Gemensamt för alla lim är att de måste vara flytande för att fastna på fogytorna och sedan stelna för att kunna belastas.

Stelningssätten är tre:

- Torkning (vatten eller lösningsmedel avdunstar)
- Avkylning (limmet är flytande när det är varmt)
- Härdning (limmet stelnar genom kemisk reaktion)

Fler stelningssätt finns inte. Kombinationerna av dessa tre sätt är dock otaliga. Det finns t ex härdlim med lösningsmedel i, som både torkar och härdar. Det finns smältlim som först avsvalnar och sedan härdar. Det finns lim med vatten i som man tillsätter härdare, applicerar, torkar, värmer och som sedan avsvalnar.

Härdningssätten kan också vara många: Blandning av två (eller flera) komponenter, värmehärdning, belysning med ultraviolett ljus, exponering för fukt är några exempel.

För att lätt förstå vilka konsekvenser det innebär och att välja mellan olika limningssätt krävs att man sätter sig in i limmens funktionssätt. Vad innebär det t ex att använda ett torkande lim mellan två ytor som inte släpper igenom vatten eller lösningsmedel? Hur fungerar t ex ett lim som härdar i kontakt med fukt, om relativa luftfuktigheten är låg (som den kan vara t ex vintertid)? Limmen och limningssätten beskrivs utförligare under *"Olika lim — hur de fungerar och vad de är lämpliga för."*

Vill man ha hjälp med limvalet kan det vara bra att använda sig av ett formulär liknande det på sidan 108 för att kommunicera med limleverantören. Det tar hänsyn både till hållfasthets- och produktionsfrågor.

Olika lim – hur fungerar de och vad är de lämpliga för?

Det finns mer än 30 000 plastformuleringar — inte alla, men en stor del av dessa är också utgångsmaterial för lim. Utan större svårighet hittar vi i Skandinavien några tusen olika lim. Det blir en ganska tung och monoton läsning att höra dessa olika lim beskrivas i ord. Vi har därför valt att försöka göra några grova uppställningar över lim och egenskaper — samt att något mer detaljerat beskriva några av de vanligaste limmen.

Uppställningen på sidan 17 visar stelningssätten och ger en uppfattning om hur limmen är att arbeta med. Sätter man limmens funktion i samband med den produkt man har tänkt att limma, kan man få ut en hel del kunskap.

Bilden blir något mer komplicerad av de kombinationer som finns mellan de olika funktionssätten. Det finns t ex möjligheter att tillsätta härdare till torkande lim och det finns smältlim som härdar efter avsvalning, då de kommer i kontakt med fukt. Det finns också lim som härdar snabbt då de belyses med UV-ljus — där ljuset kommer åt — och långsammare på den obelysta delen av fogen.

Tabell 1, sid. 22—23, försöker ge en uppfattning om limmets fogegenskaper. Inom varje limtyp finns givetvis vissa skillnader, men tabellen kan ge en ungefärlig uppfattning om i vilken grupp man skall söka vidare.

I tabell 2, sid. 26—27, gör vi ett försök att koppla samman limtyp och arbetssätt. För många limtyper varierar egenskaperna inom vida gränser. Detta beror på att gruppen är stor, med produkter utvecklade för olika ändamål. Flera limtyper förekommer också i både 1- och 2-komponentform. Några lim kan härdas både av fukt eller i värme.

Epoxilim.

2-komponentepoxi som härdar i rumstemperatur är troligen det vanligaste metallimmet. Epoxi härdar med försumbar krympning. Epoxilim finns både i 1- och 2-komponentform. De förekommer också med mycket olika värmebeständighet. Några har förlorat det mesta av sin hållfasthet redan vid 60—70°C. Andra kan användas vid 150°C.

De långsamhärdande epoxilimmen ger jämfört med de snabbhärdande ett bättre resultat. Värmehärdning av 2-komponent epoxi ger generellt sett en högre hållfasthet och en större beständighet än om samma lim får härda i rumstemperatur.

Epoxilimmen är utmärkta metallim. De limmar keramik och härdplast bra. För många termoplaster är de dock mindre lämpliga p g a att de ofta inte väter dessa. Epoxilim som modifierats med gummi får ökad fläkhållfasthet. För att få ett jämnt produktionsresultat krävs att epoxilim doseras mycket noggrant. De ofyllda epoxilimmen som har honungs-/sirapsfärg är sällan de bästa. Typiska värden för ett fyllt, 2-komponents epoxilim kan vara:

- Användningstemp. – 60°C — + 80°C.
- Skjuvfläkhållfasthet (vid enkel överlappsfog som härdats 5 minuter i 120°C) 26—28 N/mm².
- Vid 80°C är korttidshållfastheten ca 50 %.

De mest avancerade epoxilimmen för t ex limning

av flygplan är vanligast i filmform (ofta med en fiberarmering) och värmehärdas alltid.

Polyuretanlim.

Polyuretanlimmen sågs först som ersättare till epoxi, vilket de blev bl a för sandwichlimning, tack vare bättre vidhäftning och bättre fläk/klyvhållfasthet. Idag är emellertid polyuretanerna en grupp med mycket stor spännvidd och möjligen den limtyp som ökar mest.

Polyuretanlim finns från gummielastiska till hårda. De förekommer både i 1- och 2-komponentform. 2-komponenttyperna härdar i rumstemperatur utan att krympa. De lämpar sig för fyllande fogar och användes också för ren gjutning.

1-komponentpolyuretanerna härdar vanligtvis i kontakt med fukt. Det finns några 1-komponentpolyuretaner som härdar långsamt till en gummielastisk fog, som också kan härdas förhållandevis snabbt vid temperaturer mellan 70—90°C. Härdningstiden för 2-komponentpolyuretanlim påverkas inte lika mycket av värme, som t ex för ett epoxilim. 70°C är en vanlig högsta härdtemperatur. Isocyanater, som är härdare både i 1- och 2-komponentpolyuretan, reagerar också med fukt. Fukten användes som härdare i 1-komponenttyperna.

Även för 2-komponentssystem kan fukten få inverkan. Vid blandning för hand blandas luft in i limmet. Luften innehåller fukt (olika mycket vid olika väderlek). Den inblandade fukten bildar, tillsammans med härdare, kolsyra som kan få limmet

Moderna reefers (kyl/fryscontainers) byggs med sandwichteknik, som ger större nyttolast och -volym, samtidigt som isoleringsförmågan ökar. Sandwichelementen limmas med 2-komponent polyuretanlim.

Lims stelningssätt.

Torkning

Lösningsmedel eller vatten avdunstar.
70—85% av limmet är lösningsmedel alternativt ca 50% av limmet är vatten.

Avdunstningen medför att limmet krymper.

Torkning i fogen.
Minst ett av materialen måste släppa igenom lösningsmedlet eller vattnet.

Som kontaktlim.
Det mesta av torkningen sker före sammanpressning.
Kort presstid men höga presstryck.

I tejpform.
Torkar aldrig.
Samma material i fogen som på rullen.

Härdning
(polymerisation)

Blandning av 2 komponenter.
Härdar i rumstemperatur, snabbare i värme.

Uppvärmning av 1-komponentlim.
100°C eller mer.

Förändrad omgivning.
Kontakt med fukt.
Belysning med UV-ljus.
Metalljonkontakt i den slutna fogen.
Ändrat pH-värde.

Avsvalning

Smältlim.
Varmt lim på kalla ytor.

Limfolie.
Smälts mellan fogytorna.

Värmeaktivering.
Limlösning appliceras på ytorna och får torka till en limfilm. Denna aktiveras (smälts) med värme.

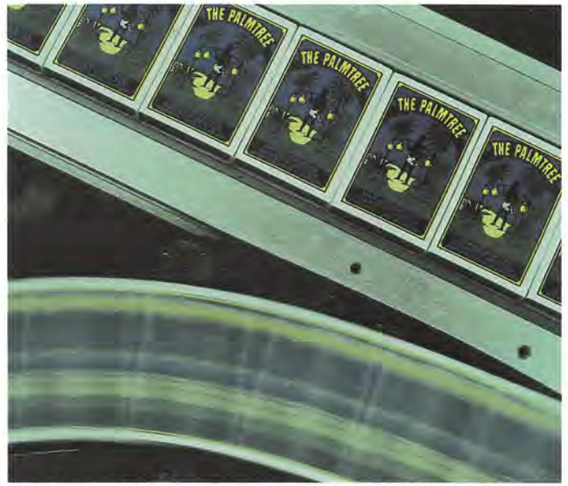
att skumma. Skumningen är olika stor för olika lim och kan också elimineras helt.

Likaså påverkas öppentiderna av den relativa luftfuktigheten. Vid hög relativ luftfuktighet är ofta öppentiden kortare. Fukt kan också ses som en accelerator för limmet. Det man vinner i presstid brukar man få betala med kortare öppentid.

Polyuretanlim förekommer med olika värmebeständighet. – 60° — + 80°C kan dock anses som intervallet för de bättre 2-komponentlimmen. Som rena metallim visar de lägre hållfasthet än epoxilimmen. 15—20 N/mm² för enkel överlappsfog vid 20°C kan betraktas som ett toppvärde. Jämfört med epoxi kan de dock sägas vara bättre plastlim pga sin lägre ytspänning, och därmed ha förmåga att väta plastmaterial. Ett stort användningsområde för polyuretanlimmen är sandwichkonstruktioner: 2-komponentlimmen för de hårdast belastade panelerna, tex för kyl- och fryskarosser, och de fukthärdande, skummande 1-komponentlimmen för svagare kärnmaterial.

De fukt- eller värmehärdande 1-komponent polyuretanerna som ger en gummielastisk fog får en draghållfasthet på ca 2 N/mm². De är elastiska även vid låga rumstemperaturer, vilket bl a kan vara värdefullt för fläkpåkända konstruktioner som används i kyla.

Polyuretanlim används även för montering av vindrutor i bilindustrin.



Hög produktionstakt, som vid tändstickstillverkning, kräver lim med extremt kort torktid.

Torkande lim.

De torkande limmen är plaster eller elastomerer (syntetgummi) som lösts i lösningsmedel, eller små, små partiklar av plast eller elastomer som hålls svävande i vattnet.

Då lösningsmedlet i den första typen försvinner blir lösningen allt tjockare för att till sist, efter relativt lång tid, övergå i fast form med egenskaper som det från början upplösta materialet.

När vattnet försvinner ur de vattendispergerade limmen, klibbar plast- eller elastomerpartiklarna ihop till ett fast material. Viskositeten ökar dock inte lika successivt som för lösningsmedelstyperna, utan kommer först när tillräcklig mängd vatten har torkat bort. Slutresultatet blir en fog som liknar utgångsmaterialet.

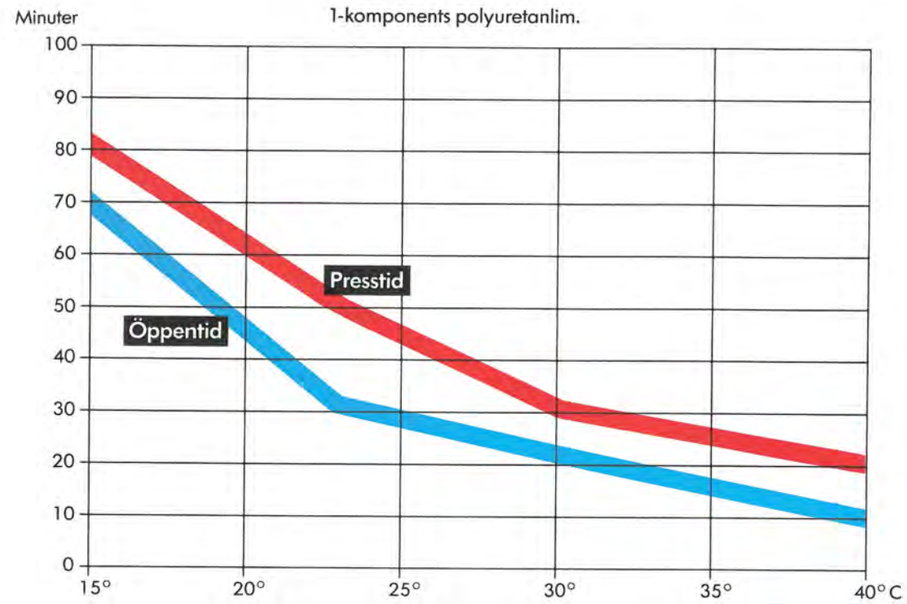
Lösningsmedelslimmen är återlösliga i samma typ av lösningsmedel som de innehöll från början. Vattendispersionerna är dock inte återlösliga i vatten — även om de inte är helt opåverkbara av vatten.

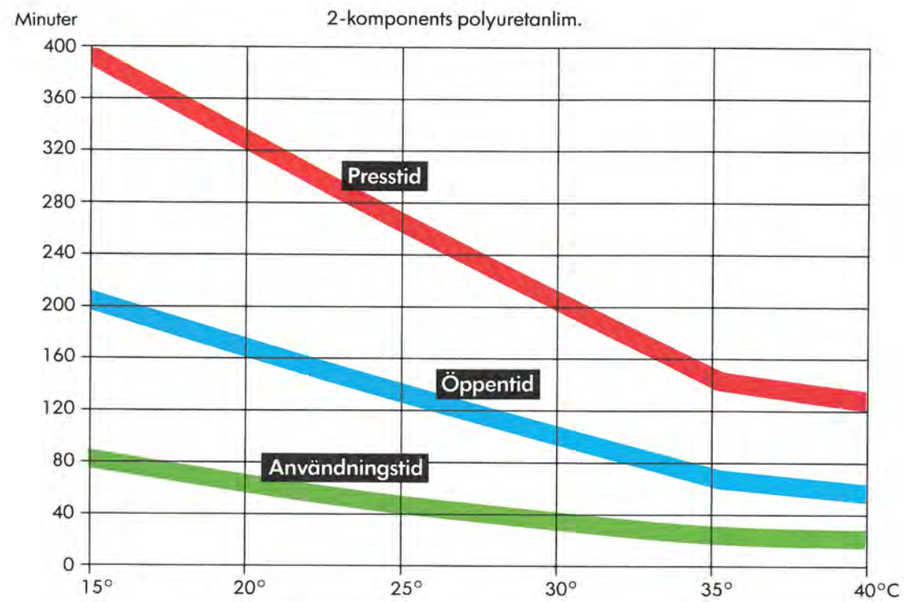
De flesta termoplaster (utom Teflon, polypropen och många polyuretaner) och nästan alla gummimaterial (utom EPDM och Viton) kan lösas i lösningsmedel och bli lim. Fler och fler plast- och gummimaterial kan också vattendispergeras.

Torrhalten kan göras högre på de vattendispergerade limmen, än de med lösningsmedel.

De flesta torkande limmen är formulerade för en speciell användning, tex för limning av enskilda termoplaster, limning av trä, för papper eller för PVC-mattor på golv och vägg.

Exempel på press-, öppen- och användningstidens variation med temperaturen.





Inom möbelindustrin limmas skumplastdynor med ett vattenbaserat kontaktlim som sprayappliceras.

Kontaktlim.

Kontaktlimmen tillhör de torkande limmen, men man låter huvuddelen av torkningen ske *före* sammanläggning av fogytorna. De baseras på elastomerer som får en relativt lång "klibbperiod" före slutlig torkning. Både lösningsmedels- och vattenbaserade kontaktlim förekommer.

När man använder kontaktlim bör man ha i minnet att den slutliga hållfastheten inte uppnås förrän allt lösningsmedel eller vatten försvunnit ur fogen. Minst ett av de limmade materialen måste alltså kunna släppa igenom lösningsmedlet eller vattnet (även om detta inte nödvändigtvis behöver gå fort).

Kontaktlim behöver inga långvariga presstryck, men de halvtorra fogytorna måste pressas samman hårt, för att kontakt skall uppnås över så stor del av fogytan som möjligt. Kontaktlim betraktas ofta som ett enkelt sätt att limma för att fixeringstiden är kort. Det finns dock ofta alternativa lim för de fogar där kontaktlim användes.

Hela väskinredningen i attachéväskorna fästs snabbt och enkelt med smältlim.

Smältlim.

Smältlimmen är vanligen baserade på hartser, vaxer och/eller termoplaster. De kännetecknas av att de kan göras flytande vid temperaturer mellan 150 och 250°C. Alla dessa smältlim är temperaturkänsliga. De blir mjukare vid uppvärmning och hårdare (ibland spröda) vid sänkt temperatur.

Smältlimmen har sin största användning inom träindustrin (för kantlistning av skivmaterial) och inom förpackningsindustrin där deras snabbhet kommer väl till pass. De eten-vinyl-acetat-baserade smältlimmen (EVA) utgör en stor grupp. För något mer krävande monteringsarbete finns också smältlim på polyamid- och polyesterbas.

Inget vanligt smältlim är dock att betrakta som ett konstruktionslim när det gäller belastade limfogar. Speciellt uppmärksam bör man vara på låga minustemperaturer och krypbelastade fogar i något förhöjd temperatur.

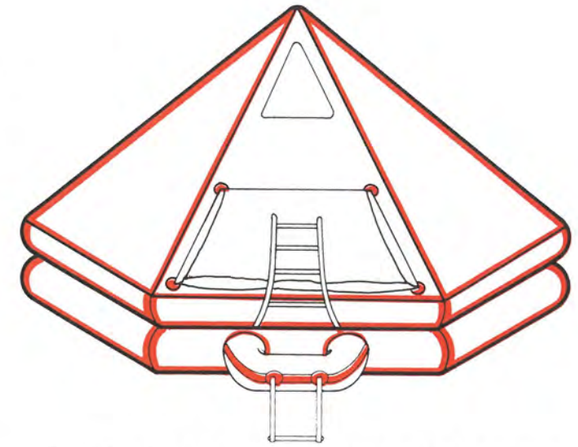
En av fördelarna med smältlim är att de stelnar fort. Den snabba stelningen kan också vara en nackdel. Ibland — speciellt på material som leder värme bra — kan limmet stelna innan det fått ordentlig kontakt med underlaget (som vid kalllödning), men det kan lösas med förvärmning av materialet, snabbare applicering el. dyl.

Värmeaktiverbara lim.

Värmeaktiverbara lim består av lösningar eller dispersioner som efter torkning blir helt klibbfria. Med hjälp av värme aktiveras limmet, så att det kan väta motstående yta. Aktiveringstiderna är korta och aktivering kan t ex ske med varmluft, infrarött ljus, hetvalsar, strykjärn etc.

Värmeaktiverbara lim ger produktionsmöjligheter som inga andra lim ger, t ex snabb vakuumlaminering och möjligheter till successiv fogning av i förväg limbelagt material.

De aktiverbara limmen ger inga fyllande fogar, så minst ett av materialen måste ha möjlighet att forma sig efter det andra. Metallfolie på stålplåt går dock bra. Aktiveringstemperaturer på ca 90—120°C är vanliga. De värmeaktiverbara limmen kan, före applicering tillsättas en härdare, vilket förbättrar beständighet och vidhäftning. Värmeaktiverbara lim är många gånger ett gott alternativ till kontaktlim — både beträffande hållfasthet och arbetsmetodik.



Räddningsflottar är uppbyggda av segment av gummiväv som limmas ihop med kontaktlim.

Varje limfog arbetas mycket noggrant för maximal styrka och säkerhet.

Fogegenskaper.

Tabell 1

	Fyllnings-förmåga	Hårdhet	Skjuv-hållfasthet	Fläk-hållfasthet	Värme-tålighet	Köld-tålighet	Vatten-tålighet	Lösningsmedelstålighet	Syra-tålighet	Bas-tålighet	Lämplighet termoplast	Lämplighet härdplast	Lämplighet metall	Lämplighet keramer	Lämplighet gummi
Torkande lim (lösningsmedel)	liten	medel	liten	medel	medel	medel	medel	liten	medel	liten	stor	stor	liten	liten	medel
Torkande lim (vatten)	liten	medel	liten	medel	medel	medel	liten	medel	medel	liten	stor	stor	liten	liten	liten
Kontaktlim (lösningsmedel)	liten	medel	liten	medel	medel	medel	medel	liten	medel	liten	medel	stor	liten	liten	medel
Kontaktlim (vatten)	liten	medel	liten	medel	medel	medel	liten	medel	medel	liten	medel	stor	liten	liten	medel
Tejplim	medel	liten	liten	stor	medel	stor	stor	medel	medel	liten	stor	stor	stor	medel	medel
Smältlim	stor	medel	liten	liten	liten	liten	stor	medel	medel	medel	stor	stor	liten	liten	medel
Härdande smältlim	stor	medel	medel	medel	medel	medel	stor	medel	medel	liten	medel	stor	medel	medel	medel
Värmeaktiverbart lim (lösningsmedel)	liten	medel	medel	stor	medel	medel	stor	medel	medel	liten	medel	stor	stor	liten	stor
Värmeaktiverbart lim (vatten)	liten	medel	medel	medel	medel	medel	medel	medel	medel	liten	medel	stor	medel	liten	medel
Cyanoakrylat	liten	stor	stor	liten	medel	medel	medel	medel	liten	liten	stor	stor	medel	liten	stor
Anaeroba lim	medel	medel	stor	liten	medel	medel	stor	stor	medel	medel	liten	liten	stor	liten	liten
UV-härdande lim	medel	medel	stor	liten	medel	medel	stor	stor	medel	medel	medel[2]	medel	stor	medel	liten
SGA-lim	medel	medel	stor	stor	medel	medel	stor	stor	medel	medel	liten	stor	stor	medel	medel
Silikonlim	stor	liten	liten	medel	stor	stor	stor	stor	medel	medel	medel	stor	stor	stor	medel
Epoxilim	stor	stor	stor	liten	stor[1]	medel	stor	stor	medel	stor	liten	stor	stor	stor	medel
Polyuretanlim	stor	stor[1]	stor	stor[1]	medel[1]	stor[1]	stor	stor	medel	medel	medel	stor	stor	stor	medel
Oorganiska lim	medel	stor	stor	liten	stor	stor	stor	stor	stor	medel	liten	liten	stor	stor	liten

[1]Stor variation förekommer. [2]Gäller vissa.

Härdande smältlim.

Härdande smältlim är en typ av smältlim som förändrar synen på smältlim och som vidgar användningsområdet. Härdande smältlim innebär oftast att man har en 1-komponent fukthärdande polyuretan med hög molekylvikt blandad med hartser m m, men det finns andra typer. Molekylerna är så stora att limmet inte är flytande ens i ohärdat tillstånd. Genom att höja temperaturen till 90—100°C får man limmet flytande. I detta tillstånd appliceras limmet. Skillnaden mellan den rumstempererade fogytan och det 90—100 gradiga limmet är, jämfört

Härdande smältlim, som ger längre monteringstid, används bland annat för fastsättning av gummit på bordtennisrackets.

med andra smältlim, liten. Det härdande smältlimmet stelnar betydligt långsammare och öppentiden (eller monteringstiden) blir längre.

Direkt efter avsvalning har det ohärdade härdande smältlimmet relativt låg hållfasthet (oftast dock tillräcklig för vidare arbete på produkten). Efter härdning uppnås en värmebelastbarhet som är överlägsen andra smältlim. Härdningen sker genom att limfogen kommer i kontakt med fukt. Härdningen går alltså olika fort beroende på relativ luftfuktighet, material som limmas och fogutbredning (vid täta material).

Tejp och självhäftande lim.

"Ett lim måste vara flytande för att kunna deformera sig och komma i kontakt med fogytans profil. Det måste därefter stelna för att kunna överföra någon last."

Tejplim deformerar sig långsamt och stelnar inte alls! Tejpämne är en mycket långsamflytande vätska som sakta, sakta "rinner" ner i ytans ojämnheter. Det är därför en tejp är lätt att ta bort direkt efter applicering, men ofta mycket svår (eller omöjlig) att få bort då den suttit ett tag. Därefter händer ingenting mer! Tejpämnet är och förblir samma material på rullen som i fogen.

Tejp och häftlim förekommer med mycket olika kvalitet. De som klibbar sämst i början är ofta de som sitter bäst efter ett par dagar — och som kan belastas mest.

Tejp är användbara för växlande belastning, eftersom de kryper fram och tillbaka med belastningen, eller för små laster.

Självhäftande lim finns som tejp med eller utan bärare, i olika tjocklekar. Det finns också flytande lim i lösningsmedels- eller dispersionsform, så att man kan "tillverka tejpen direkt på produkten." Tejplimmen förekommer också i smältlimsform. D v s man smälter ett halvfast tejpämne med värme och applicerar det varmt med smältlimsutrustning.

Dekaler, stickers och dekortejper svarar för en stor del av tejplimsförbrukningen.

Cyanoakrylater.

Cyanoakrylaterna finns numera i små, små flaskor på de flesta bensinstationer och hos färg- och byggvaruhandlare. Det är de små mirakellimmen som man "limmar allt med omedelbart."

De flesta cyanoakrylatlimmen är klara som vatten och de vanligaste har låg viskositet (nästan som vatten). De förekommer dock i viskositeter upp till geléform.

Cyanoakrylaterna har relativt låg ytspänning, så de väter de flesta gummimaterial och många plaster (dock ej polyeten, polypropylen och Teflon). För att få bra limningsresultat med en cyanoakrylat krävs ytterst tunna fogar.

Cyanoakrylaterna är beroende av fukt för att härda. Plast och gummimaterial innehåller alltid något vatten. De är också lättare att deformera till varandra. Härdningen går därför fortast vid lim-

Cyanoakrylater är perfekta för små, diskreta limfogar, t ex i juvelerarindustrin.

Funktion och arbetssätt.

Tabell 2

	1-komponent	2-komponent	Viskositet	Stelnings-krympning	Lim krävs på båda ytorna	Förtorkning krävs	Ett poröst material krävs	Värme-härdning krävs	Fixeringstid i 20°C	Fixeringstid i 100°C	Presstryck krävs	Arbetsmiljö-hänsyn
Torkande lim (lösningsmedel)	ja	nej	medel	stor	nej	nej	ja	nej	lång	—	ja	stor
Torkande lim (vatten)	ja	nej	medel	stor	nej	nej	ja	nej	lång	kort	ja	liten
Kontaktlim (lösningsmedel)	ja	nej	medel	stor[1]	ja	ja	ja[2]	nej	kort	—	ja[3]	stor
Kontaktlim (vatten)	ja	nej	medel	stor[1]	ja	ja	ja[2]	nej	kort	—	ja[3]	liten
Tejplim	ja	nej	hög	ingen	nej	nej	nej	nej	kort	—	ja[3]	liten
Smältlim	ja	nej	hög	liten	nej	nej	nej	nej	kort	—	nej[4]	liten
Härdande smältlim	ja	nej	hög	liten	nej	nej	nej	nej	kort	—	nej[4]	medel
Värmeaktiverbart lim (lösningsmedel)	ja	ja	medel	stor[1]	nej	ja	nej	nej	—	kort	ja[3]	stor
Värmeaktiverbart lim (vatten)	ja	ja	medel	stor[1]	nej	ja	nej	nej	—	kort	ja[3]	liten
Cyanoakrylatlim	ja	nej	låg	liten	nej	nej	nej	nej	kort	—	ja[3]	stor
Anaeroba lim	ja	nej	låg	försumbar	nej	nej	nej	nej	medel	kort	nej[4]	medel
UV-härande lim	ja	nej	låg	försumbar	nej	nej	nej	nej	kort	—	nej[4]	stor
SGA-lim	nej	ja	medel	liten	ja	nej	nej	nej	kort	—	ja[3]	stor
Silikonlim	ja	ja	hög	liten	nej	nej	ja[2]	nej	lång	medel	nej[4]	liten
Epoxilim	ja	ja	hög	försumbar	nej	nej	nej	för vissa	medel	medel	nej[4]	stor
Polyuretanlim	ja	ja	hög	försumbar	nej	nej	nej	för vissa	medel	medel	nej[4]	medel
Oorganiska lim	ja	ja	hög	medel	nej	nej	nej	för vissa	lång	medel	nej[4]	liten

[1]Före sammanläggning. [2]För fullständig stelning. [3]Kortvarigt. [4]Endast för fogkontakt.

ning av plast och gummi. Vid limning av metaller blir det vanligen svårare att åstadkomma en tunn fog och den enda fukt som finns tillgänglig finns på ytan och i fogens kanter. Fixeringstiden på metall blir därför oftast längre.

Cyanoakrylaterna ger en hård fog. Deras slag- och fläkhållfasthet blir låg. Detta märks mest på limningar mot hårda material. Vid tex limning av gummi fördelar gummit spänningen och limfogarna kan trots sin hårdhet bli starka. På senaste år har cyanoakrylatlim som modifierats med gummiinblandning presenterats. Dessa får högre slag- och fläkhållfasthet, men ger en svart fog och har längre härdningstid. Cyanoakrylaterna kommer mest till användning för mindre fogytor.

Låsvätskor används tex för att låsa en axeltapp i ett kugghjul.

Anaeroba lim (låsvätskor.)

Denna typ av produkt är främst avsedd att överföra rena skjuvlaster (även om några som fungerar som "vanliga lim" nu finns utvecklade).

Anaeroba produkters första användningsområde var att låsa gängade förband, därav namnet låsvätskor. Nästa stora användningsområde blev montering av cylindriska förband typ kullager och bussningar i säten, kugghjul på axlar och andra tillämpningar på "tappar i hål."

Anaeroba produkter är 1-komponentlim som i frånvaro av syre och i kontakt med aktiva metalljoner övergår i fast form. Härdning sker alltså först sedan limmet finns i den slutna fogen. Härdningen går fortare ju tunnare spalten är. 0,25 mm spalt är en praktisk övre gräns. Metaller har olika aktiva metalljoner. På koppar och stål sker härdningen snabbast. Kadmium ger långsammare härdning. På rostfria stål kan härdningen utebli, likaså på aluminium med kopparhalt under 1 %. För att vara möjliga att använda på dessa material krävs härdning i värme eller användande av en ytaktivator.

UV-härdande lim kräver att minst ett av materialen är UV-genomsläppligt.

UV-härdande lim.

Några av de anaeroba limmen har utvecklats till att härda av ultraviolett ljus. Härdaren finns här inblandad och frigöres av UV-ljuset. Det är alltså inte UV-ljus i sig, som gör så att limmet härdar. Härdningen fortsätter även utanför ljuskällan.

Dessa produkter är regelrätta lim. Vanligaste tillämpningarna är på glas och metall. I en stängd fog mellan tex glas och stål sker härdning till hanterbarhet på ca 10 sekunder i ljuset från en vanlig solljuslampa, med våglängd runt 350 nm. För härdning på fria ytor krävs UV-ljus med kortare våglängder.

Några specialvarianter av de UV-härdande limmen ger också god hållfasthet på transparanta plaster typ polymetakrylat (plexiglas) och polykarbonat. Det finns också hybridvarianter av denna limtyp, som både härdar anaerobt, dvs instängt i fogen (långsamt) och med hjälp av UV-ljus (snabbt), där det kommer åt. På detta sätt kan man erhålla en kort fixeringstid och en god sluthållfasthet även på material som inte släpper igenom ljus.

SGA-lim.

(Second generation acrylics)

Denna limtyp gör det möjligt att i lugn och ro sprida lim på ena fogytan och härdare på den andra. Härdningen sker sedan snabbt vid sammanpressning (ca 1—3 min. vid 20°C till hanterbarhet). Limfogen får goda mekaniska och kemiska egenskaper. Fläkhållfastheten är mycket god.

Limtypen förespåddes en mycket stor användning, då den presenterades i slutet av 70-talet, mycket beroende på att limmet tolererar något orena ytor. Den relativt begränsade spridning den i praktiken fått beror troligen till stor del på dess intensiva lukt och de arbetsmiljöhänsyn som måste tas vid limning.

Silikonlim.

Silikonlimmen förekommer som 1- och 2-komponentprodukter, och är de enda som ger en kontinuerlig användningstemperatur på ca 200°C, utan att kräva värmehärdning.

Alla silikonlim ger mjukelastiska limfogar. 1-komponentlimmen härdar med hjälp av fukt. Härdningen är en sk kondensationshärdning. Det betyder att något avspaltas i den kemiska reaktionen. Vad som kommer ut beror på härdsystemet. Vanligast har varit ättiksyra. Härdningen sker relativt långsamt och går långsammare längre in i materialet. 10 mm brukar vara ett praktiskt härddjup. Limmar man större ytor måste minst ett av

SGA-lim används bland annat till högtalarlådor, för att ge akustiskt täta och starka fogar.

Med ättiksyraavspaltande silikonlim kan man bygga akvarier helt utan ramkonstruktion.

Rymdskytteln måste skyddas mot den kraftiga friktionsvärme, ca 1.500°C, som utvecklas då skytteln återinträder i jordatmosfären med en hastighet av ca 22.500 km/h. Därför är hela undersidan och stora delar av ovansidan, totalt ca 70% av skytteln, klädd med specialutvecklade plattor som klarar så höga temperaturer.

Plattorna består av 10% kiselfiber och 90% luft, och utanpå finns ett skikt av boratsilikatglas. Glaset svarar för 95% av värmeskyddet medan resterande 5% absorberas inne i plattorna.

Totalt går det åt ca 34.000 plattor för att täcka alla delar som måste skyddas, och de är alla olika!

Med de höga temperaturer som utvecklas är det givetvis av yttersta vikt att samtliga plattor verkligen sitter fast och ger det skydd de ska. Det kan räcka med att en enda platta saknas för att äventyra hela farkosten. Därför limmas plattorna på skytteln med ett silikonlim.

materialen släppa igenom fukt. De ättiksyraavspaltande typerna används bl a till att limma akvarier — helt utan ramkonstruktion.

På senare tid
har andra härdsystem utvecklats:

- Amin
- Octoat
- Alkohol
- Oxim

Några av dessa härdsystem, som kallas neutrala har ingen markant lukt, som t ex de ättiksyraavspaltande. Härdningstiderna är längre och slutprodukterna blir mjukare. De oxim- och alkoholhärdande systemen får god vidhäftning mot många termoplaster.

2-komponentsilikoner kan härdas i tjocka sektioner och på stora ytor. 2-komponentsilikonerna har tidigare krävt primer och värmehärdning för att ge vidhäftning till andra material. Nu finns det 2-komponentsilikoner som ger vidhäftning till andra material, vid härdning i rumstemperatur, utan att kräva primer. Silikonlim är de enda lim som går att limma silikongummi med. (Dock finns en primer som gör cyanoakrylater möjliga att använda.)

Högtemperaturlim.

Silikonlim kan brukas kontinuerligt upp emot 200°C, och vissa typer kan kortvarigt användas vid ca 350°C. Några epoxilim kan användas uppemot 200°C, och epoxilim som modifierats med fenol klarar något högre temperatur. De vanligaste limmen har en användningstemperatur som ligger under 100°C.

Har man behov av ett lim som skall användas vid temperaturer över 200°C är utbudet alltså mycket begränsat. Polyimid och polybenzimidazol är härdplaster av vilka också formulerats lim. De förekommer som limfilm eller som lösningar. Lösningarna "målas på" och lösningsmedlen torkas bort (limfilmen är så att säga tillverkad på plats). Härdningsproceduren blir relativt komplicerad med successiv uppvärmning till hålltemperatur och successiv avsvalning. Dessa är högtemperaturlim som kan användas upp till intervallet 350—400°C, men hållfastheten vid rumstemperatur blir dock lägre än för många andra konstruktionslim.

Oorganiska lim, d v s lim som inte har plastmaterial som bas medger användning upp i temperaturer runt 1000°C. Som regel är de baserade på oxider och silikater (keramiska material). Vid limning avgår som regel vatten, vilket ger en viss krympning. Limfogarna blir vanligen hårda och relativt spröda.

Andra lim — nya lim.

Denna korta presentation av några lim bör ses som exempel på vanliga lim. Det finns ett stort antal lim som endast berörts flyktigt — eller inte alls.

Utvecklingen inom limområdet sker mycket fort. Nya limtyper som nu börjar bli aktuella är t ex oorganiska lim som kan härdas vid rumstemperatur utan krympning. Lim som är "helt ofarliga" både för användaren och för den yttre miljön är mycket aktuella.

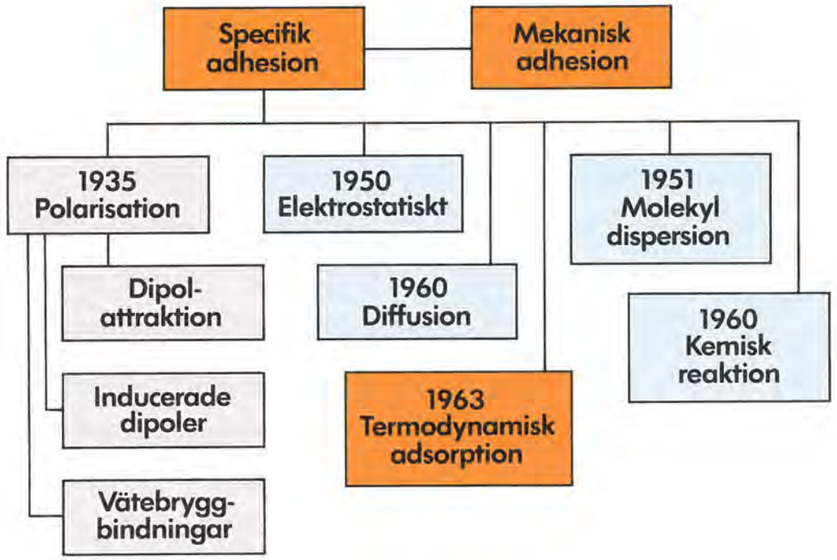
Det krävs ett heltidsengagemang för att hålla sig informerad om utvecklingen. Har man inte tiden själv förefaller det klokt att ha kontakt med någon som är kunnig på lim.

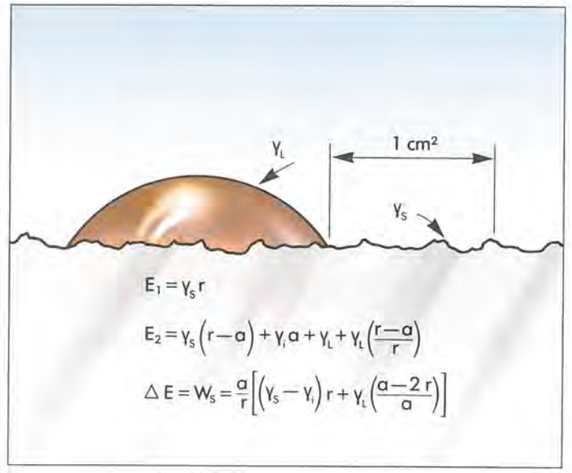
Varför går det att limma?

"Oberoende av hur starkt lim man hittar har man ingen glädje av det, om man inte kan få det att sitta fast."

Det måste betraktas som klokt att fundera över varför lim fastnar. Samtidigt kan man då få förståelse för varför de ibland *inte* fastnar. Trä och andra porösa material har man framgångsrikt limmat i tusentals år. Hur limmet fastnar på porösa material förefaller ju ganska enkelt att förstå: "Det flytande limmet tränger in i det porösa materialet varefter det stelnar — och limningen är fullbordad." Riktigt så enkelt är det dock inte. Det finns porösa

Adhesionsteorier.





Den termodynamiska adsorptionsteorin.

E_1 = Systemets ytenergi före kontakt
E_2 = Systemets ytenergi efter kontakt
γ_S = Ytspänning hos det fasta materialet
γ_L = Ytspänning för limmet
γ_i = Ytspänning för gränsyta
r = Förhållandet mellan verklig yta A och projicerad yta Ap
r = A/Ap
För vätskor är r vanligen 1.
a = Areal där kontakt mellan lim och yta uppnåtts.
W_S = Spridningsarbetet

material som man inte kan limma framgångsrikt. Även vid limning av trä och papper kan man ibland uppleva skiftande resultat. Går vi sedan över till att betrakta täta material, som t ex glas, plaster, metaller, så blir vi osäkrare på hur det fungerar.

Något osäker var man troligen också när det första limmade metallflygplanet flögs år 1942. Behovet att förstå varför det gick att limma var naturligtvis stort. Man betraktade fogytorna i mikroskåp och fann att ytorna som man limmade emot inte var så jämna och släta. "Limmet hade möjligheter att förankra sig i ytans ojämnheter." Den förklaringen kunde man nöjt sig med, om man inte träffat på ytor, som borde gett en mycket bra mekanisk förankring, men som inte alls gav någon hållfasthet.

Under årens lopp har det presenterats teorier som försöker förklara vad som händer i gränsskiktet mellan lim och materialet som limmas.

Alla teorier kan förklara något av vad som kan ske i gränsskiktet, men de moderna förklarar mer än de äldre. Därför behöver vi bara betrakta den senaste, *den termodynamiska adsorptionsteorin,* som presenterades år 1963. Den kan ha någon av de andra teorierna som "underrubrik." Det är den termodynamiska adsorptionsteorin vi har att hålla oss till om vi vill förstå vad vi gör när vi limmar. Den kan visas med matematiska formler som den till vänster.

Ekvationen gäller för spontan spridning hos limmet på en yta.

I klartext säger den termodynamiska adsorptionsteorin:

- Kommer två material tillräckligt nära varandra så förenas de.
- Föreningen mellan dessa två material blir starkare än det svagaste av materialen. (Vid belastning i den miljö som föreningen skett).

Tillägget inom parentes talar om för oss att alla limfogar inte tål angrepp av alla andra vätskor.

Formeln säger oss också att *a bör närma sig r,* vilket i klartext betyder att limmet bör ha så god kontakt som möjligt med ytan man limmar emot. (Detta förefaller självklart, men är inte så självklart att det sker automatiskt). $r > 1$ är också eftersträvansvärt. D v s en verklig yta som är större än den

projicerade är önskvärt. $\gamma_S > \gamma_L$ säger att ytans ytspänning skall vara större än limmets.

Sammanfattat:

Bra vidhäftning får man om man använder ett lim som har lägre ytspänning än materialet man skall limma, om ytan inte är helt jämn och om limmet hinner komma i kontakt med denna yta innan det stelnar.

Beroende av vilka ytor som kommer "tillräckligt nära" varandra uppstår bindningar med olika energiinnehåll.

Energiinnehållet kan som synes vara mycket olika. Det är dock alltid så stort att bindningen är starkare än bindningarna i det svagaste materialet (limmet eller det limmade materialet). Att limfogar kan ha olika förmåga att motstå angrepp från ett yttre medium (t ex vatten) blir lättare att förstå, då man ser skillnaden på energiinnehåll.

Hur nära är "tillräckligt nära"?

Bindningarna kan ha olika energiinnehåll (styrka) men ingen har längre räckvidd än 5 ångström.

5Å = 0,0000005 mm

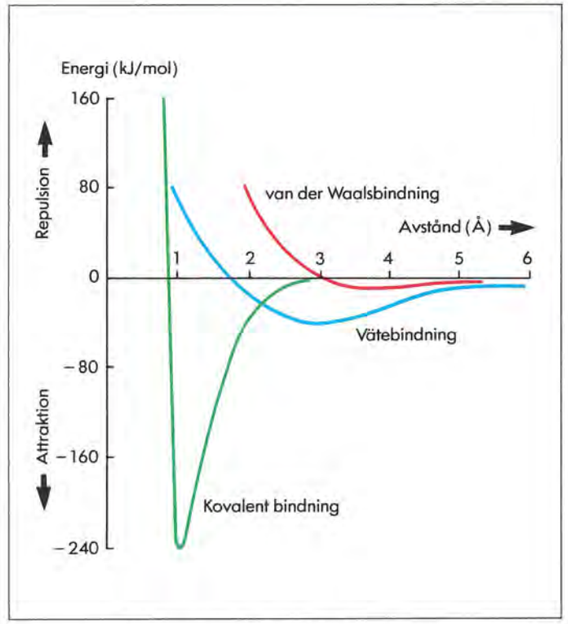
5Å = 0,5 nm

5Å = Fem tiomiljondelsmillimeter

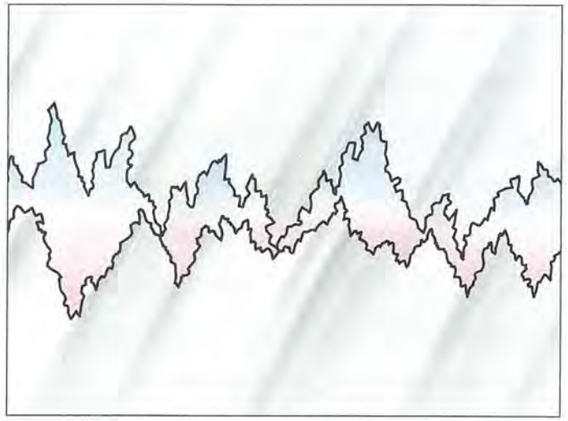
5Å = Fem tiotusendels μm

Så nära kan inte två fasta material komma varandra! De flesta ytor har profildjup på flera tusen ångström. De jämnaste ytor som har åstadkommits på ett fast material har profildjup på flera hundra ångström.

Typ	Energiinnehåll (kJ mol^{-1})
Jonbindning	590—1050
Kovalentbindning	63— 710
Metallbindning	113— 347
Permanent dipol-dipol samverkan	
Vätebindning med fluorin	<42
Vätebindning utan fluorin	10—26
Andra dipol-dipol (förutom vätebindningar)	4—21
Dipol-inducerad dipol	<2
Dispersions (London) krafter	0,08—42

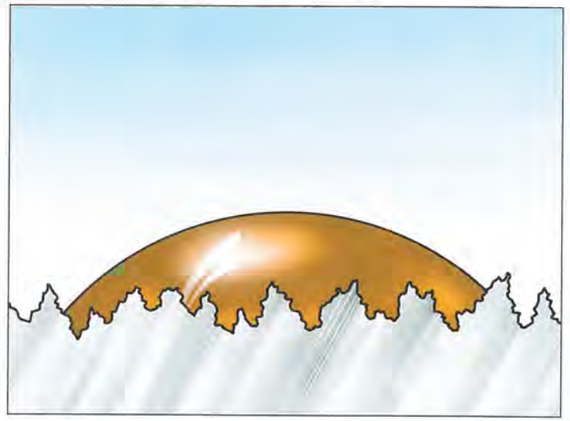


Energiinnehållet i olika bindningar.



De jämnaste ytor som kan åstadkommas har ändå profildjup på flera hundra Å, och då ser anliggning mellan två ytor ut så här.

När vätskan har högre ytspänning än materialet blir det ingen vätning.



Men när vätskan har lägre ytspänning än materialet blir det vätning, och därmed vidhäftning om vätskan är ett lim.

För att uppnå tillräcklig närhet krävs att minst ett av materialen deformerar sig efter det andra:

- Gamla dagars smeder glödgade och hamrade ihop stålet.
- När man löder och hårdlöder så smälter man lodet.
- Vid svetsning smältes både tillsatsmaterialet och ytan på det som svetsas.
- Man kan spränga ihop olika metaller.
- Och man kan limma!

I det senare fallet är det givetvis limmet som skall deformera sig efter ytan som skall limmas. Beklagligt nog så deformerar sig inte alla lim efter alla ytor. Som tidigare antytts måste limmet ha lägre ytspänning än det material som skall limmas. Detta för att limmet skall kunna väta materialet.

Det är absolut nödvändigt att limmet väter den yta som det skall vidhäfta.

Vad är då ytspänning och vätning?

Det är ytspänningen som gör så att den lilla insekten, skräddaren, kan gå på vattnet. Det är ytspänningen som gör så att det inte regnar in i ett tält — fast man kan se ljuset genom tältduken. Det är ytspänningen som gör så att "vattnet rinner av på en gås"... eller rättare sagt: Det är ytspänningsförhållandet!

Inte i något av ovanstående exempel har vätskan vätt det fasta materialet.

För att lim skall vidhäfta (komma inom fem ångströms närhet) måste de väta materialet.

Alla material strävar efter att bli sfärer.

Sfären (kulan) är den kropp som har den minsta begränsningsytan i förhållande till sin volym. Hos vätskor ser man det tydligt — de bildar droppar. Även hos material i fast form finns denna strävan. Det ser man när man smälter metaller. När man löder och hårdlöder så bildar lodet en kula — tills det flyter ut när flussmedel tillföres. Denna inbyggda strävan att bilda sfärer ger upphov till en spänning i ytan (ytspänning). Ju starkare sammanhållet materialet är ju högre blir ytspänningen. Limmet måste ha en lägre ytspänning än den yta som skall vätas. Man kan också uttrycka förhållandet som: Ytan måste ha högre fri ytenergi än limmet.

Utan vätning blir det ingen vidhäftning!

Varför ligger lodet som en kula när man löder — tills flussmedlet påföres? Jo, för att metalloxiderna på det fasta materialets yta har lägre ytspänning än de rena metallerna. När flussmedlet tar bort oxiden ökar den fria ytenergin hos metallytan (= ytspänningen) och övervinner lodets sammanhållande krafter. Lodet väter metallen. Diagrammet till höger ger en uppfattning om ytspänningen hos några olika material.

Sett ur vätningssynvinkel kan ett material väta ett annat som står ovanför i diagrammet. Praktiskt taget alla lim väter följdaktligen diamant, glas, keramik och metaller. (Därmed inte sagt att de är lämpliga att använda av andra skäl.)

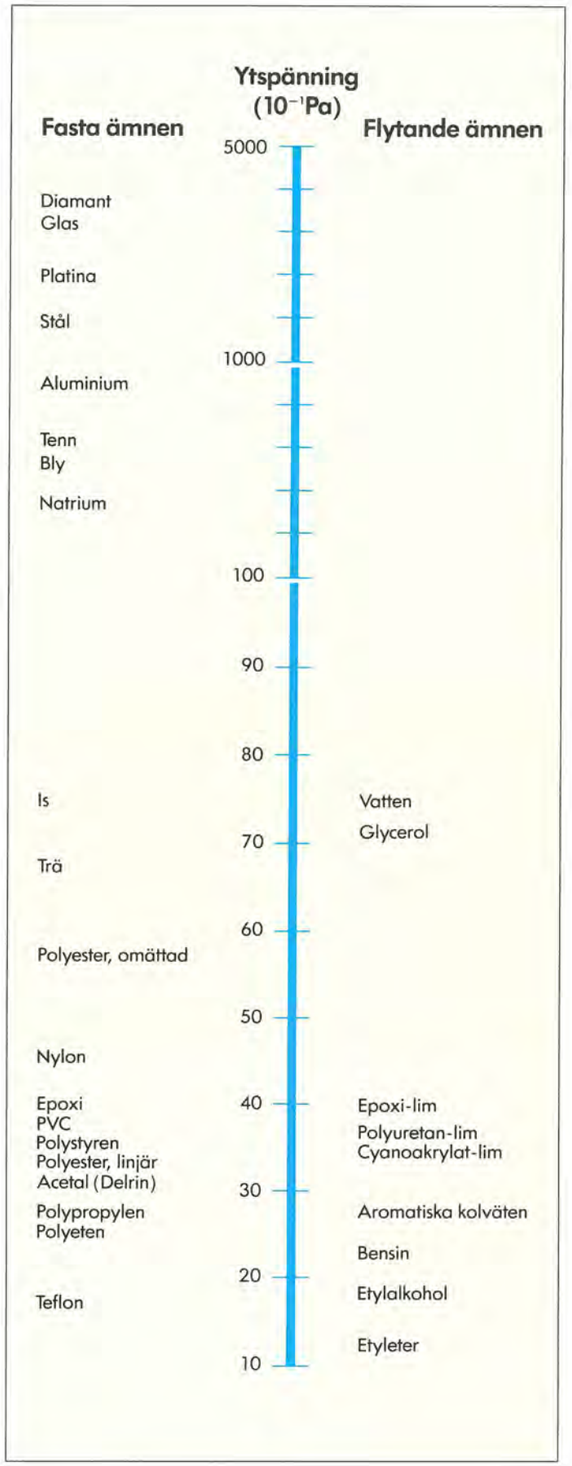
Ser vi på gruppen plaster, är det trångt. Lim består mycket ofta av plast. Skall vi limma plast, så gäller det att hitta en plast — som kan göras flytande — och har lägre ytspänning. Detta kan ibland bli svårt — i vissa fall omöjligt. Vad limmar man tex Teflon med?

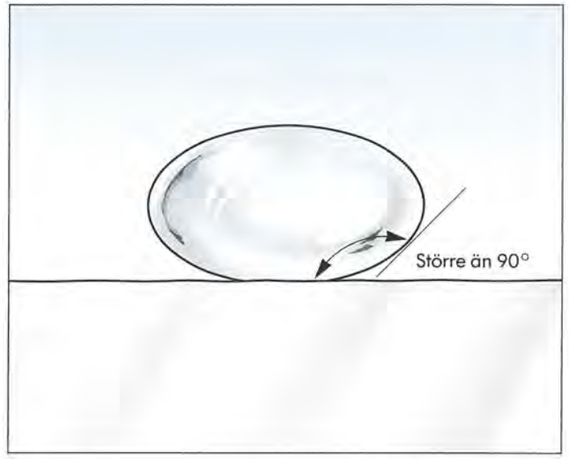
Ser vi på epoxi, så står det ganska högt upp i plastgruppen. Följdaktligen är inte epoxilim särskilt bra som plastlim. Polyuretanlimmen har lägre ytspänning och limmar därför fler plaster. Lägst ytspänning av härdlimmen har cyanoakrylat. (Ytspänningen hos ett material är lika för materialet både i flytande och fast form.)

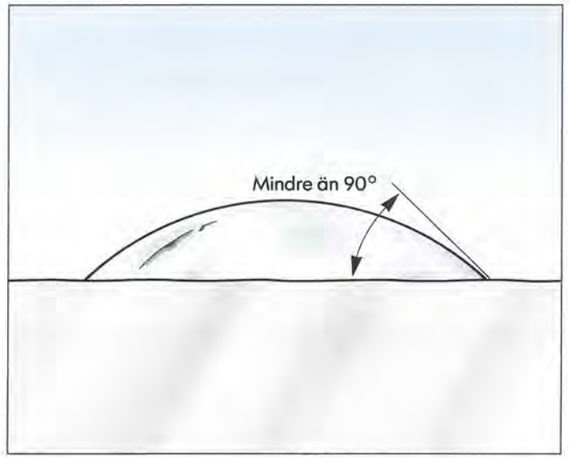
Om man vill limma ett material som står så lågt i tabellen att det inte finns något lim med lägre ytspänning, vad gör man då?

Jo, då lyfter man upp limmet på skalan genom någon form av ytspänningshöjande ytbehandling. Se mer om detta under *"Limning av plast och gummi."*

När man blivit medveten om ytspänningens och vätningens betydelse för vidhäftningen, så kan man relativt enkelt se om ett lim har några förutsättningar att limma materialet.







Genom att titta på vätningsvinkeln kan man avgöra om ett lim ger vidhäftning på materialet man vill limma.

- Droppa lite lim på materialet som skall limmas. Uppskatta vilken vinkel droppen bildar mot ytan. Vinklar på 90° eller mer ger ingen vidhäftning. Ju mindre vinkel — desto större kraftutbyte i gränsskiktet — och därmed högre vidhäftning.
- Stryker man ut tunt med lim på den yta som man vill limma (några cm^2) och betraktar denna yta under några minuter, så kan man också se lämpligheten, speciellt om limmen är lättflytande. Blir limfläcken mindre är detta tecken på att limmet hellre vill vara en droppe. I sådant fall är ytspänningsförhållandet fel och vi kan inte förvänta oss någon vidhäftning. Blir limfläcken däremot större, visar det att limmet väter ytan och man kan förvänta sig att limmet vidhäftar.

Behöver ytorna vara rena?

Det finns många exempel på limningar där ytorna inte rengöres före limning. Ofta utföres limningar på material i leveranstillstånd. Bilindustrin har tex limmat mot anoljad karosseriplåt sedan 50-talet.

Man kommer ändå inte ifrån att man måste veta vad man limmar emot.

Ytan som skall limmas måste ha en hållfasthet som är tillräcklig, för att föra över den last som limmet förväntas göra. Det får inte heller finnas några ytbeläggningar som ger ett sämre ytspänningsförhållande.

Innan vi går vidare och talar om ytor: Vad är en yta? Man föreställer sig något plant och slätt. Håller man i minnet att adhesionskrafterna har en maximal räckvidd på 5 Å, bör man betrakta ytorna med den måttstocken. De slätaste ytorna har profildjup (ojämnheter) på flera hundra Å — och de flesta har ojämnheter på många tusen Å.

Så här kan en jämn yta se ut:
Bilderna på nästa sida föreställer aluminiumplåt som förstorats 500 och 25 000 gånger. Strecket på bilden motsvarar en tusendels millimeter av den verkliga ytan. 5 Å motsvarar i denna uppförstoring en tvåtusendel av detta streck! Det är svårt att tänka sig så små mått. Vi försöker igen!

Tänk dig en yta med profildjup (ojämnheter) på 0,5 μm dvs 0,0005 millimeter mellan dalar och toppar. Förstora upp denna yta 100 miljoner gånger (100.000.000). Avståndet från dal till topp blir då femtio meter. Inritat i detta landskap räcker attraktionskrafterna 5 centimeter!!

Det är sådana ytor, som har den relationen mellan ytojämnheter och räckvidd, vi ska försöka förstå då vi talar om renhet. Att försöka torka en yta ren, sett ur detta perspektiv, verkar då helt meningslöst.

Det går inte att torka ytor rena inom 5 Å med trasor och lösningsmedel.

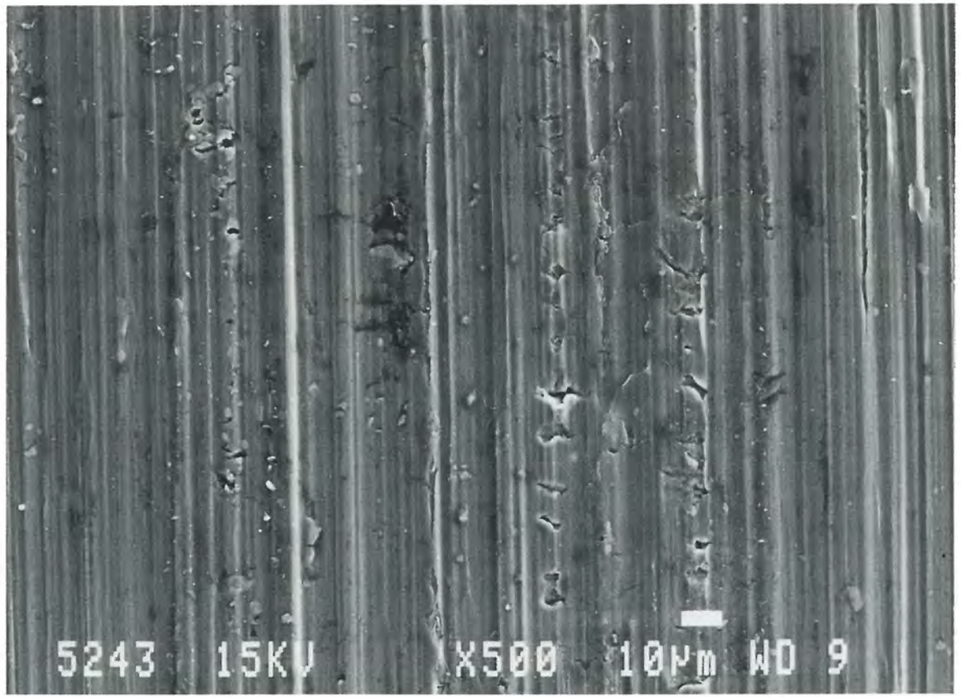
Försöker man sig då på att tvätta i flytande lösningsmedel — vad gör man då?

En bit med fett på ytan behandlas i rent lösningsmedel till allt fett är upplöst.

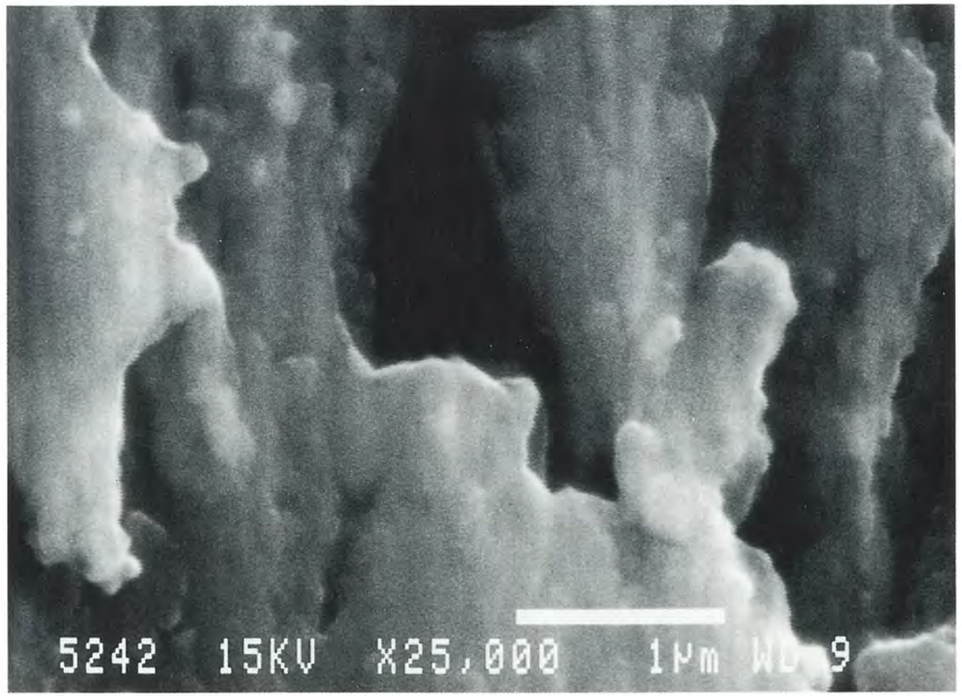
Biten tas upp! Vad finns i burken? — En fettlösning!! Vad finns på biten? Samma fettlösning! Lösningsmedlet dunstar, men fettet blir kvar.

Den första biten i det rena lösningsmedlet blir kanske ren inom 5 ångström, men den andra — och tredje...? En annan fråga när det gäller tvättning i lösningsmedel: Löser lösningsmedlet säkert den förorening man vill avlägsna? Det finns flera skäl att välja bort lösningsmedel när det gäller rengöring före limning:

- Den inre miljön — arbetsmiljön.
- Den yttre miljön — naturen.
- Det tveksamma resultatet.



Aluminiumplåt med jämn yta i 500 ggr förstoring.



Aluminuimplåt med jämn yta i 25.000 ggr förstoring.

Hur gör man då?!

En möjlighet kan vara att utgå från rena ytor — som man undviker att smutsa ner. Fabriksmålad plåt är ren när den lämnar lacklinjen. Aluminiumplåt, som är förbehandlad för limning, finns att tillgå. Polyester-glasfiberlaminat, som har en yta slipad och avsedd för limning, finns att köpa. Tar man hänsyn till materialets tillverkningssätt och leveranstillstånd kan man möjligen slippa bekymra sig om rengöring — *om man styr leverans och hantering så att det från början rena materialet, inte smutsas ner.* Ofta har man dock små möjligheter att styra detta.

Ett radikalt sätt att få kända (och rena) ytor, kan vara att ta bort en bit av materialet på ytan. Man hyvlar helt enkelt bort det översta skiktet — och med detta följer föroreningarna.

Slipning med sandpapper eller smärgelduk ger detta resultat. Bättre är dock att använda sk slipnylon, som är ett nätverk av nylonfiber, som doppats i bindemedel och slipmaterial. Användande av slipnylon ger en jämnare, fjädrande ytbearbetning och ger en mindre avverkning av materialet. Slipnylon sätter inte igen och förbrukas heller inte lika fort som slipduk.

Det finns också cirkulära borstar med nylonfiber som innehåller slipmaterial. Dessa lämpar sig också väl för rengöring före limning.

Blästring, tex med aluminiumoxider är en annan följsam förbehandlingsmetod. Det finns idag små blästringsutrustningar, med återsug av blästermaterialet, som möjliggör blästring av delar av ytor i öppna lokaler.

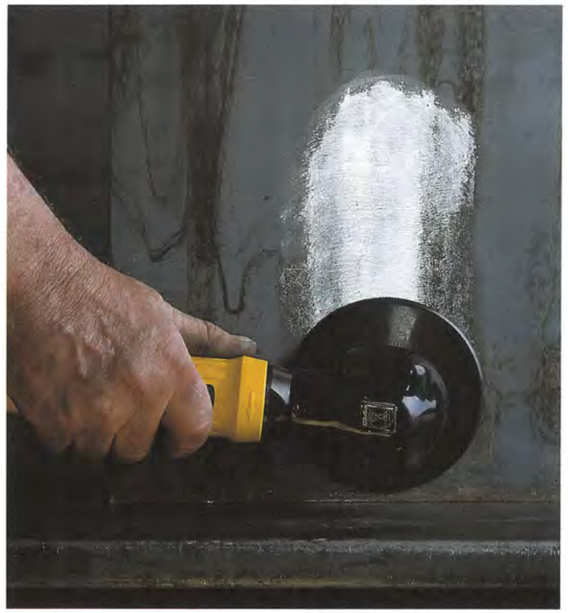
Alla former av mekanisk bearbetning har till strävan att åstadkomma en ren, jämn yta — inte en grovrepig yta!

Ett profildjup på 3—6 µm anses lämpligt. Det är ingen tvekan om att finslipning är en bra och lätt tillgänglig förbehandlingsmetod.

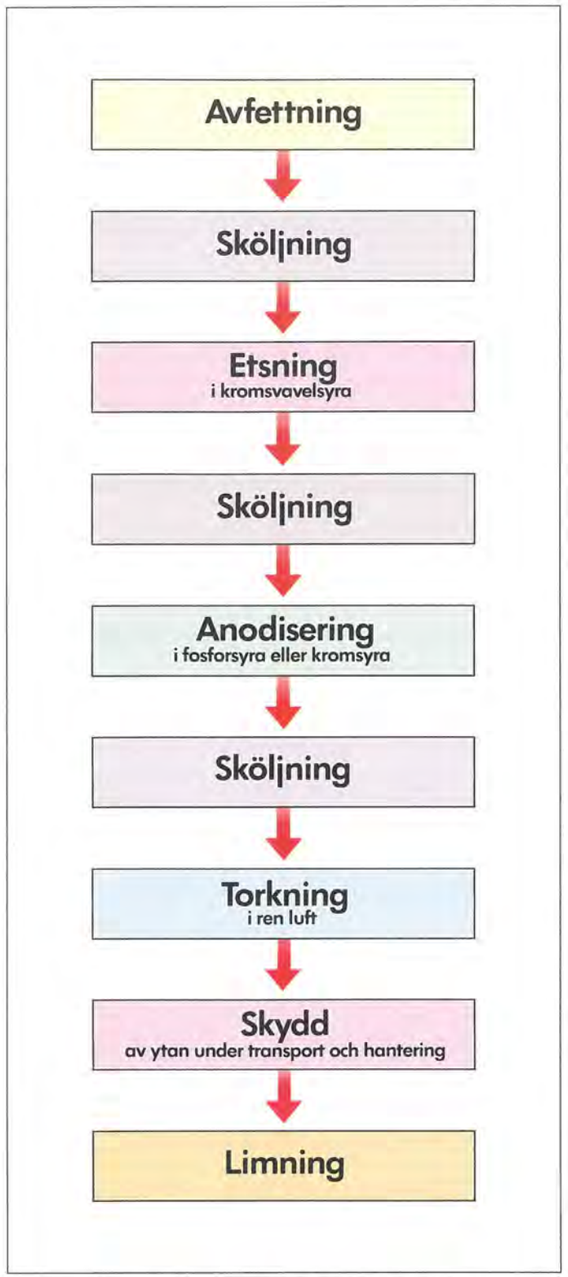
Men om man inte kan eller vill slipa eller blästra?

Glas lämpar sig knappast att slipa. Många andra ytor får en ändrad lyster även utanför limfogen, vilket gör att slipning är olämpligt.

Om man vill tvätta istället, är det ett bra sätt att göra som när man diskar. Många gånger är det samma föroreningar på tallrikarna, som det är på de ytor som skall limmas. Ingen skulle komma på



Genom slipning tar man bort hela det översta skiktet och därmed föroreningarna.



Ytbehandling före limning av flygplansvinge.

tanken att diska i lösningsmedel!

Tvättning i vatten tillsatt med alkaliskt rengöringsmedel är en effektiv metod.

Här bildar rengöringsmedlet och föroreningen kemiska föreningar som fälls ut. Det blir alltså inte en smutslösning.

- Vattnet bör vara varmt.
- Omröring — eller bättre — mekanisk bearbetning ökar effektiviteten (diskborste el. dyl.)
- Sköljning i rent rinnande vatten.
- Torkning i ren luft.

Det finns många industriella rengöringsmedel utvecklade på detta tema. Metoderna är också långt utvecklade och spännvidden är stor:

- Varmt vatten i diskhon + en skvätt rengöringsmedel för enstaka rengöringar.
- Ultraljudsbad för rigorös och snabb rengöring av små detaljer.
- Högtryckstvätt för större detaljer.
- Diskmaskin (hushålls- eller storkökstyp) innebär tvättning, sköljning och torkning satt i system.

Som nämnts finns många olika rengöringsmedel och leverantörer. Innan man bestämmer sig för metod är det klokt att konsultera leverantörerna om metod och medel. Aluminiumlegeringar är t ex känsliga för starka alkaliska lösningar, varför valet av rengöringsmedel blir extra viktigt.

Mätt med ångströmsmått är det i praktiken omöjligt att åstadkomma en absolut ren yta. Det gäller snarare att gång efter gång åstadkomma en yta med samma mängd kända föroreningar.

Några lim har förmågan att tränga bort oljor från ytan och ge god vidhäftning trots oljan. Olja och lim måste dock vara utprovade i förhållande till varandra.

Bilindustrin använder bl a 1-komponent värmehärdande epoxilim på pressolja. Man byter dock inte olja eller lim utan noggranna provningar före. Vet man att ett lim och en olja passar ihop, kan det ibland ge jämnare produktionsresultat att olja in ytorna före limning. Det låter naturligtvis konstigt med tanke på vad som tidigare sagts om rena ytor.

Måste man t ex hantera en yta som är ren, och sedan inte kan göra den ren igen (som vid limning

av bilkarosser), är ett sådant lim lämpligt. Föroreningarna kommer nämligen att "drunkna" i oljan, och sedan trängs både olja och föroreningar bort av limmet. (Detta sagt för att öka förståelsen för vad som kan hända i ett gränsskikt mellan lim och yta — inte som en generell rekommendation).

Som avslutning och motvikt kan det vara på sin plats att se på den förbehandlingskedja (se föregående sida), som används vid förbehandling av lättmetalldetaljer som skall limmas ihop till flygplan.

Läs mer om förbehandling av metall med avseende på långtidshållfasthet under *"Hur gammal kan en limfog bli"* och *"Limning av metall."*

Vågar man lita på limmade fogar?

Ofta känner man en viss osäkerhet beträffande limfogars hållfasthet. Det verkar hålla nu, men hur ser det ut om 5 år, eller om 50 år?

Lim består numera vanligen av plast. Vågar man lita på plast? I många andra sammanhang vågar man tydligen göra det:

Inte förväntar man sig att plastbåten, som man köpt för dyra pengar, skall lösas upp och förintas.

Plastbåtar består av glasfiber (eller kolfiber) som limmats med polyesterplast. En plastbåt utsätts för vatten (och olja), kyla, värme, UV-ljus och stora dynamiska påkänningar.

Man bygger in avloppsrör av PVC i husen och i dessa rör rinner både det ena och det andra. Husen förväntas stå kvar under många år — likaså avloppsrören.

Plaster får en allt större användning:

- Plastbåten, seglen, tågvirket som man förtöjer båten med, gummifjädrarna (som också är plast).
- Kläderna (syntetiska), heltäckningsmattan.
- De mest utsatta delarna av bilen (nedre delen av dörrarna, skärmkanter etc) blir allt vanligare i plast.
- Målarfärg.
- Hängrännor och stuprör för hus.
- Skor, skosulor...

Nackdelen med plaster — ur miljösynpunkt — är att de är svåra att bryta ned.

I en limfog, där plasten (limmet) ofta är skyddad av de limmade materialen, finns det inte så stor anledning att oroa sig för limmet i sig. (Givetvis måste valet av lim göras med tanke på användningsmiljön — för det finns tex lim som är helt lösliga i kallt vatten). Vågar man flyga, så litar man troligen på limfogar. Många av dagens (och gårdagens) flygplan är limmade i primärkonstruktionen, vilket innebär att det finns risk för flygsäkerheten om limfogen inte skulle hålla.

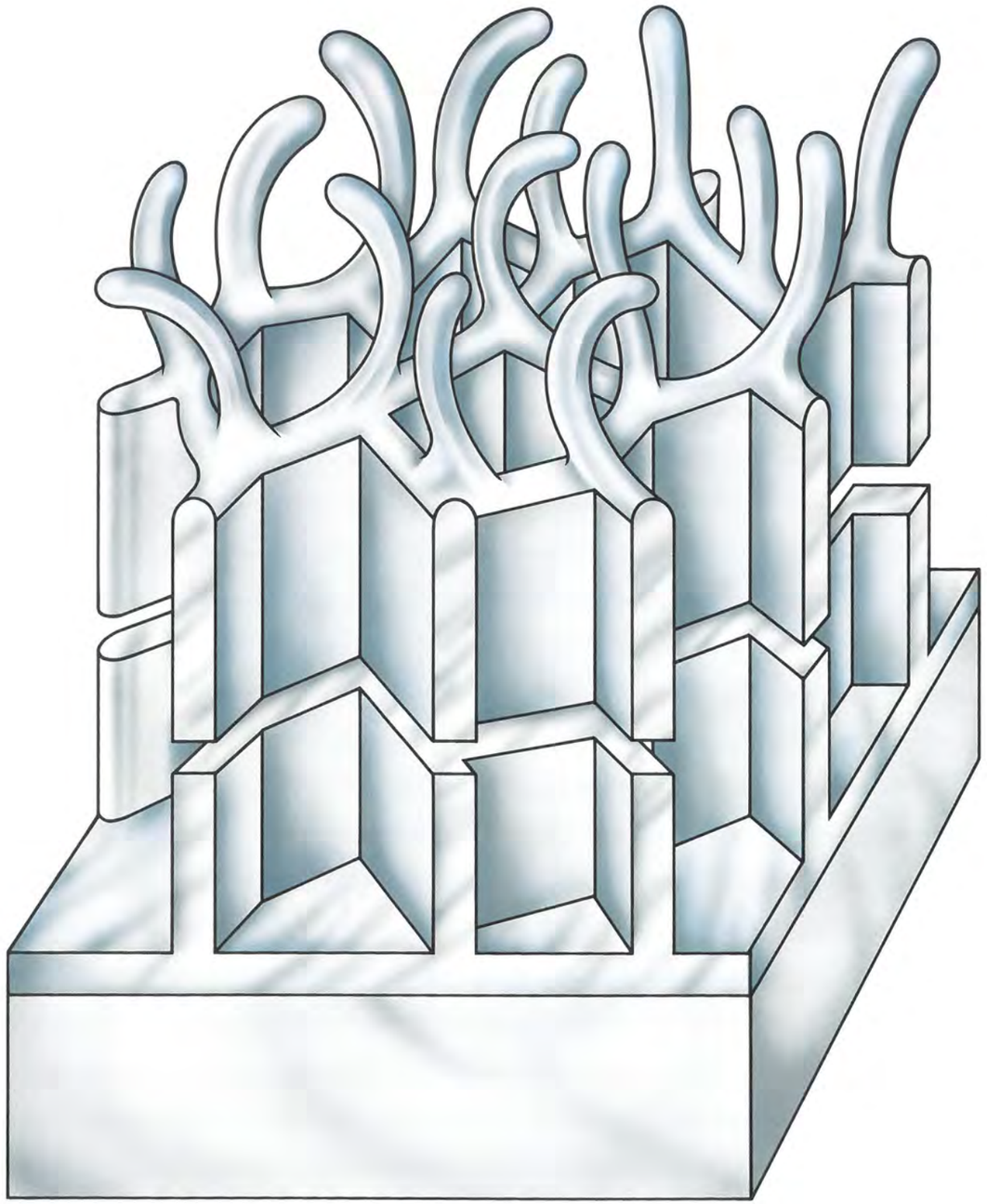
Genom att limma får man tom bättre utmattningshållfasthet, än om detaljen skulle vara utförd i en bit.

Om limfogar blir sämre, så beror det som regel på att något har hänt i gränsskiktet lim och material — inte med limmet som sådant.

Limmar man tex mot en metallyta, får man räkna med att metallen oxiderar under limmet — förr eller senare! Vilken sorts oxider bildas? Är de hållfasta? Sitter de väl förankrade till metallen? Läs under *"Hur gammal kan en limfog bli"* och *"Limning av metall."*

Känns det aktuellt att prova?

Läs under *"Hur väljer man lim"* — där finns några enkla provmetoder beskrivna.



Hur gammal kan en limfog bli?

"En perfekt limfog kan bli hur gammal som helst." En limfog som består av ett beständigt lim, som kommer i fullständig kontakt med de limmade materialen, är perfekt — med avseende på långtidshållfasthet.

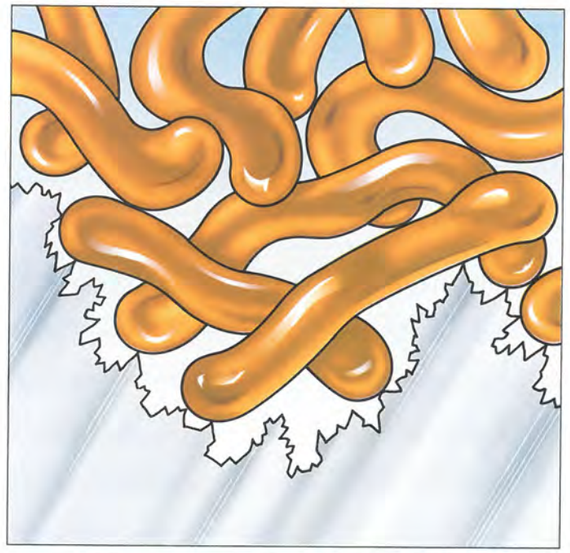
Att det finns plaster — och därmed lim — som har mycket goda åldringsegenskaper vet vi. Det är ingen större svårighet att få reda på hur ett lim klarar sig i olika miljöer och utsatt för olika kemikalier.

Problemet ligger normalt inte i själva limmet. Problemet är snarare att lim och limmat material aldrig kommer i fullständig kontakt. Ju högre viskositet limmet har och ju fortare det stelnar, desto ofullständigare blir kontakten. Det som sker — och eventuellt inte sker — i gränsskiktet mellan lim och limmad yta, uppträder givetvis i ett mätområde som inte är synligt för blotta ögat. Faktum är att man har svårigheter att se det t o m med de mest högupplösande mikroskopen.

Tittar man på en aluminiumyta som anodiserats i fosforsyra (en förbehandling som används inom flygindustrin), med 50.000 gångers förstoring, kan den se ut som ett månlandskap.

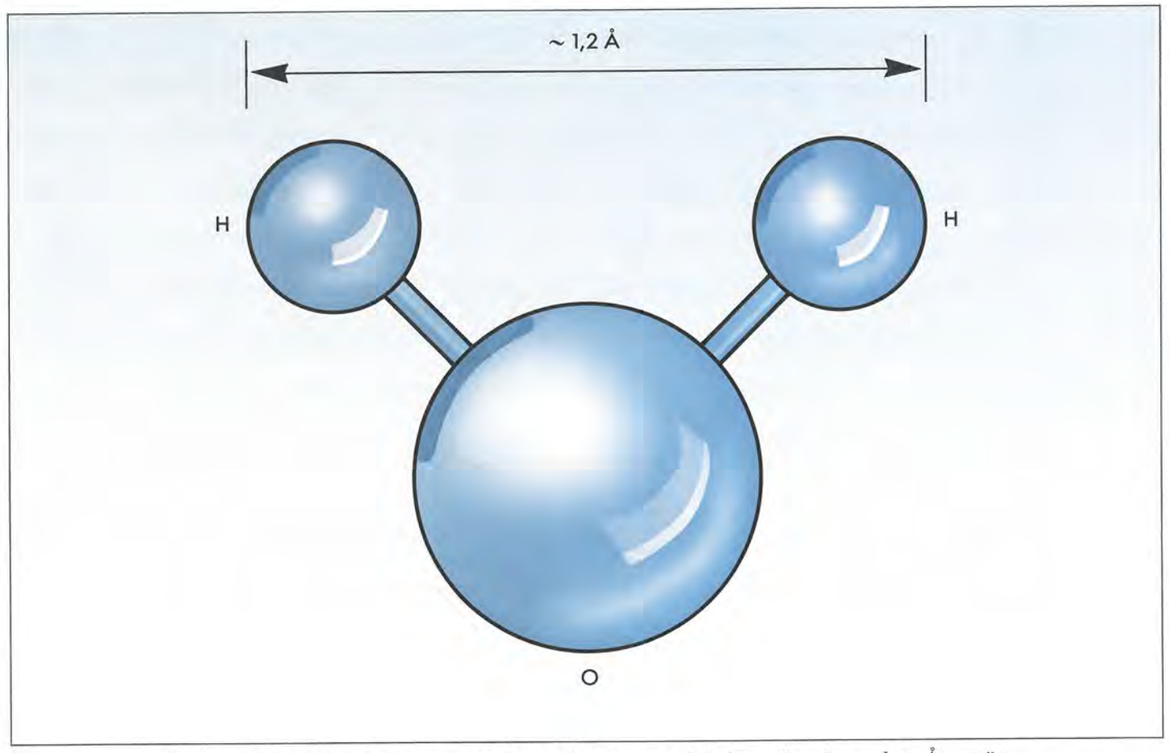
För att få en uppfattning om hur ytan verkligen ser ut, måste man göra en isometrisk skiss av den, som bilden till vänster.

Det finns ytor med mindre komplicerad ytgeometri än ovanstående, *men det finns inga släta ytor!* En molekylkedja kan ha en grovlek på 2—3 Å (epoxi) eller för metakrylater ca 10 Å. Längden på kedjorna kan vara många tusen Å. Det flytande, ohärdade limmet består alltså av ett virrvarr av sammanslingrade molekylkedjor (jämför taggtråd, men mjuk). När dessa molekyler hälls ut över en yta, fyller de bara delvis ut ytprofilen.

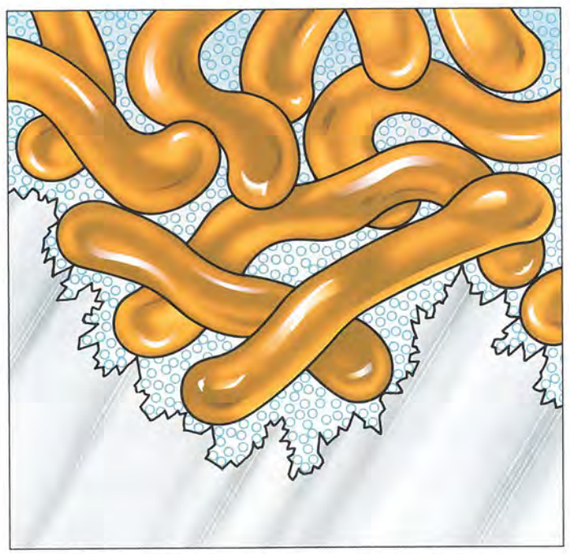


Limmets sammanslingrade molekylkedjor fyller bara delvis ut ytprofilen.

Vatten, som finns överallt, har mycket små molekyler. Mycket mindre än alla lim- och plastmolekyler. Det betyder att det finns plats för vattenmolekyler mellan de stora plast- och limmolekylerna.



Vattenmolekylen består av en syre- och två väteatomer, och är inte större än en dryg Ångström.



Vattenmolekylerna är så små att de lätt tar sig in i alla tomrum i gränsskiktet.

Alla plaster — och därmed också alla plastbaserade lim — tar alltså upp vatten. Det skall de göra! Vatteninnehållet är deras naturliga tillstånd. Vad som kan vara ett problem är att ytorna som man limmar emot inte självklart förblir opåverkade av vatten.

Vilka ytor påverkas mest av vatten? Bortsett från vattenlösliga material (socker, salt etc.) är det metaller (förutom guld). Metaller oxiderar och kan korrodera. Titta på bilen! Trots att den skyddas av en lack (= plast), kan det uppstå blåsor med rost.

Det beror på att lacken inte är helt tät. Och den kommer inte i absolut kontakt med ytan. Det finns plats för vatten i gränsskiktet. Naturen avskyr tomrum, därför kommer vattnet så småningom dit. Det bildas en elektrolyt, och korrosionen (avfrätningen) startar.

Så är det med bilar och så är det med limfogar. *Ju mer högviskösa och snabbstelnande lim man använder, desto större blir tomrummet i gränsskiktet och ju större blir fuktinvandringen.*

För limfogar finns det två vägar för fukten:

A. Genom att limmet tar upp fukt, som sedan kan samlas i mikroskopiska håligheter i gränsskiktet mot fogytan.

B. Direkt invandring i ofullständigt fyllda gränsskikt.

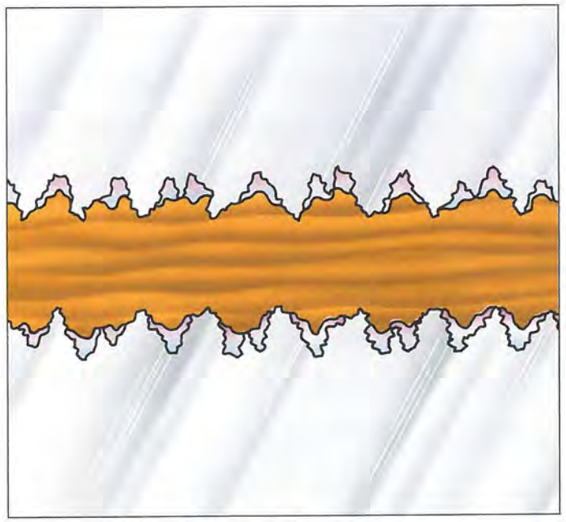
Det senare sättet för fuktinvandring går oftast betydligt fortare. Vanligen sker fuktinvandringen fortare i varmt, fuktigt klimat än vid nedsänkning i vatten. Då kan de enskilda vattenmolekylerna lättare ta sig fram en och en, och ingen luftkudde ligger och tar emot. (Vid jämförelse mellan limfogar mot aluminium, som dels lagrats i 100 % luftfuktighet vid 60°C, dels utomhus under ett år, har de utomhuslagrade fogarna ingen eller liten nedgång i hållfastheten, medan de som lagrats i fukt i vissa fall minskat till hälften.)

Kan man då överhuvudtaget åstadkomma limfogar som inte blir sämre med tiden?

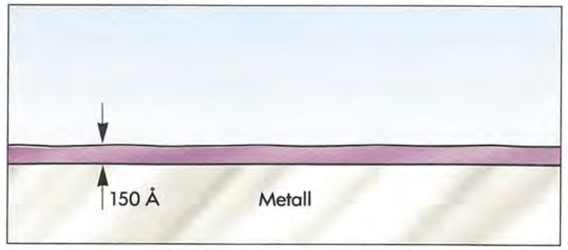
Flygplan har limmats under många årtionden. Man har sågat ut provbitar ur gamla, limmade flygplan som skall skrotas. Dessa provbitar har provbelastats och jämförts med värdena för referensprover vid planens tillverkning. Efter årtiondens belastning under drift (väder och vind, kyla och värme) visar dessa limfogar ingen nedgång i hållfasthet. I litteraturen finns beskrivet en till största delen bortrostad bil tillverkad 1933. Strålkastarglasen till denna bil var limmade mot reflektorn av stål. Stålet bakom limfogen var inte rostigt. Limfogen var intakt!

Låt oss påminna om förutsättningarna för långtidshållfastheten för limfogar mot metall. Den är direkt beroende av:

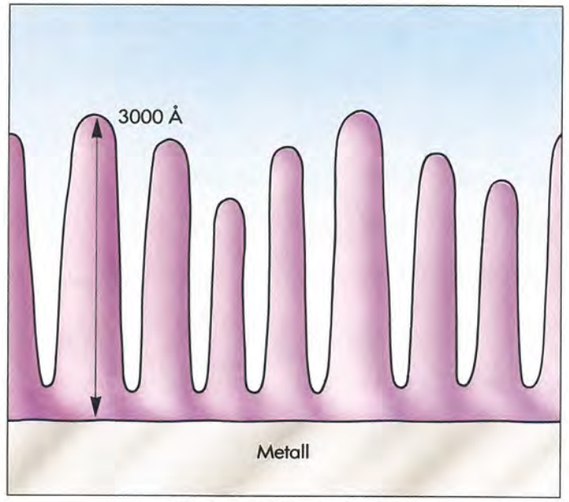
- Utfyllnadsgraden av metallytans profil. Dåligt utfyllda profiler ger utrymme för vatten.
- Beständigheten hos de oxider som man limmar emot. Metalloxiden kan i gynnsamma fall utgöra ett skydd för vidare oxidation (korrosion).
- Vilka elektrolyter som vatten och lim tillsammans kan bilda i gränsskiktet. Stål är tex relativt stabilt i alkali, men korroderar snabbare i syror. Aluminium påverkas lättare av alkali.



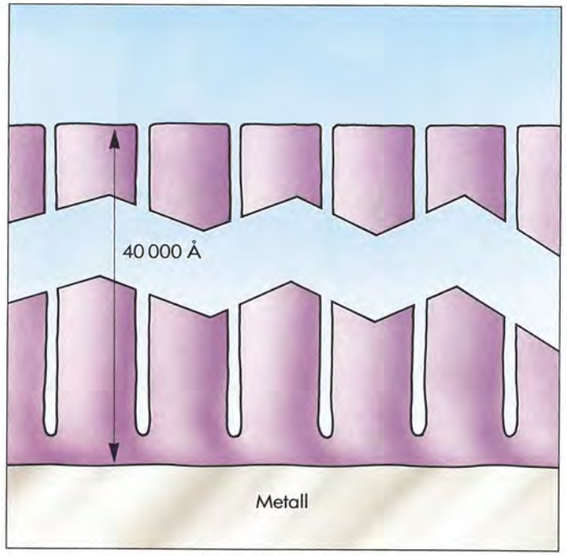
Dåligt utfyllda ytprofiler fylls med vatten och korrosionen börjar.



A. Krom-svavelsyraetsning.



B. Fosforsyra-anodisering.



C. Kromsyra-anodisering.

Varför var flygplansfogarna inte åldrade?

Limningen var utförd mot en beständig oxid, (anodisering i kromsyra, utan eftertätning. Den metoden har europeisk flygindustri alltid använt sig av). Limmet har en bas av fenol, vilket i detta sammanhang inte ger aggressiva elektrolyter. Bilstrålkastaren från 1933 då!? Där hade ju limningen skett mot rent stål — och det kan ju rosta. Limmet var här "beck," som aldrig stelnar helt, som har möjlighet att praktiskt taget helt fylla ytprofilen. *Finns det inget utrymme för vatten kan ingen korrosion uppstå!*

Aluminium är den mest limmade metallen — i alla fall har man mest erfarenheter av limning mot aluminiumlegeringar. Detta beror på att flyg- och rymdindustrin varit beroende av aluminium. Det är ju känt som ett material som inte rostar, men det oxiderar mycket fort. Oxiderna skyddar mot vidare oxidation. Det blir ett tunt, skyddande oxidskikt.

Det finns dock möjligheter att skapa många olika oxider på aluminium. Dessa olika oxider har olika beständighet. Ju tjockare oxidskikt desto beständigare, men också sprödare!

Bilderna visar schematiskt några olika oxidskikt som kan förekomma på aluminium. Tjockleken kan variera 1.000 gånger mellan dessa.

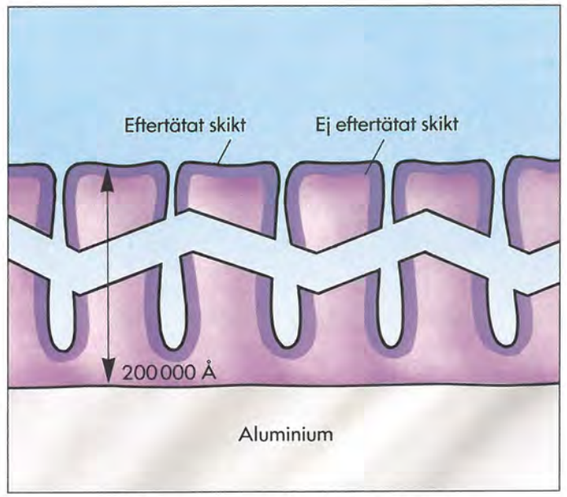
Krom/svavelsyra-etsning (A) ger ett mycket tunt oxidskikt som är ett utmärkt underlag för limning pga den öppna profilen.

Amerikansk flygindustri har länge använt denna förbehandling. Barriärskiktet, som skyddar mot vidare oxidation (korrosion) var dock för dåligt (tunt), då man började flyga mycket i fuktig havsmiljö.

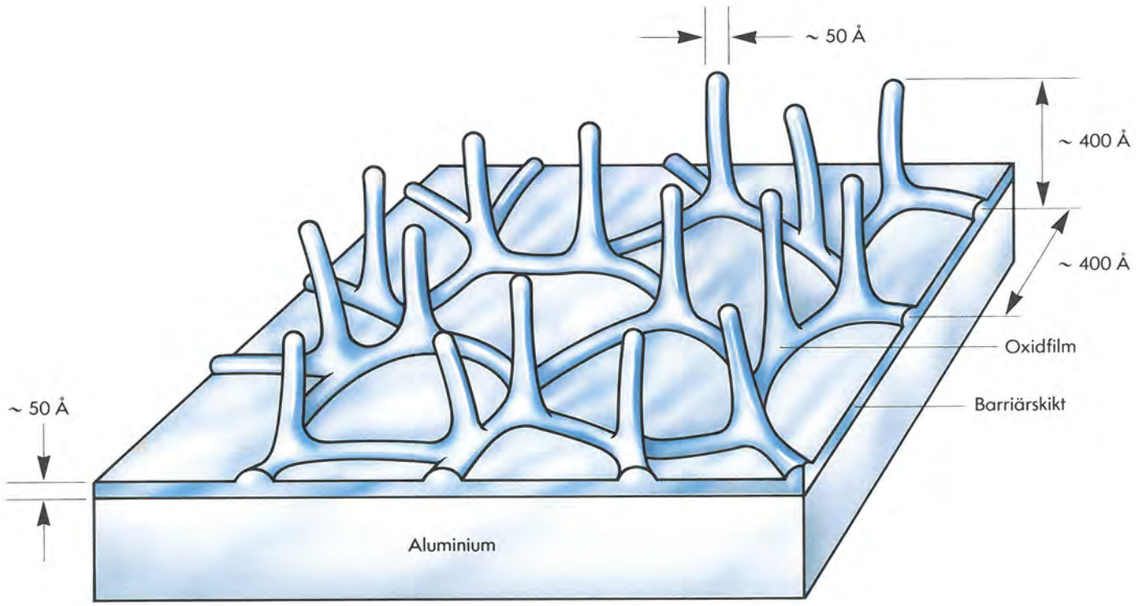
Forskning på området ledde till en anodoxidering i fosforsyra (B). Tillsammans med en primer ger denna förbehandling en mycket god beständighet och hög belastbarhet. Denna oxid är 20 gånger tjockare.

Kromsyra anodisering (C) ger ett oxidskikt som är ca 300 gånger tjockare och anodisering i svavelsyra (D) som är vanligast på aluminium för utomhusbruk (tex dörr- och fönsterpartier), är ca 1.000 gånger tjockare. Dessa tjocka oxidskikt är mycket beständiga, men lägre belastbara eftersom oxidskikten i sig kan brista.

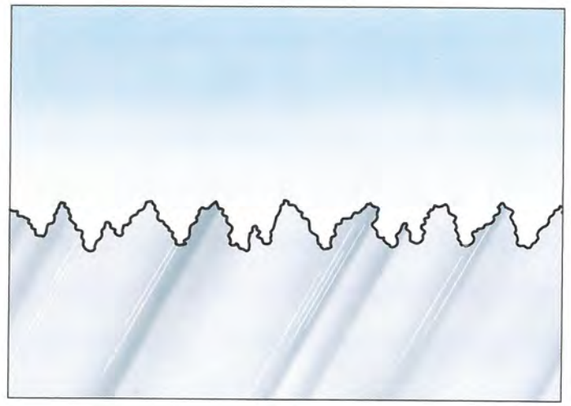
Dessa exempel tjänar som illustrationer till att öka förståelsen för de mikroskopiska skeendena i gränsskiktet mellan lim och metall. Under *"Limning av metall"* finns olika förbehandlingsmetoder för några vanliga metaller beskrivna.

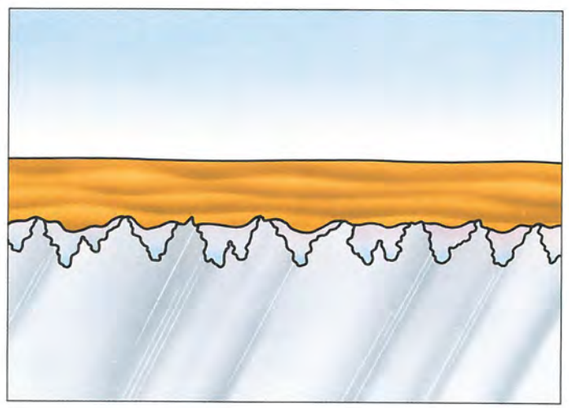


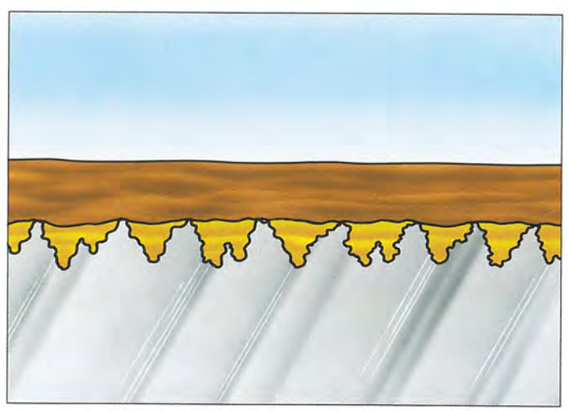
D. Svavelsyra-anodisering, eftertätad (dvs oxidskiktet har svällts genom att doppas i vatten 95—100° C).



Krom-svavelsyraetsad aluminium.







Högviskösa lim kan inte fylla ut ytprofilen, och ger då ett dåligt limresultat. Men om man först mättar ytan med en lågviskös primer får man en jämnare yta och god vidhäftning med det högviskösa limmet.

Hjälper det att använda primer?

Det finns ju inga jämna ytor "sett med ångströmsögon." Alla lim som ska ge hållfasta, beständiga fogar är att betrakta som högviskösa.

Genom att först mätta ytan med en mycket lågviskös primer och sedan — efter att primern torkat — limma, får man både bättre initialhållfasthet och långtidshållfasthet. En primer som använts före limning med polyuretanlim både på aluminium, stål, varmförzinkat stål och rostfria stål är en sk wash-primer på bas av polyvinylbutyral med fosforsyrahärdare. För användning före limning med epoxilim och limfilmer finns också primer utvecklade. Långtidshållfastheten vid limning mot metall är mer ett metallproblem än ett limproblem. Limfogar mot plast brukar därför ge mindre bekymmer om man väl klarat vätningen och fått adhesion.

Den sammansatta påkänningen (synergin) av samtidig belastning, miljöpåkänning och höjd temperatur ger en snabbare påverkan av limfogen.

Belastade fogar får alltså kortare livslängd om förutsättningarna är dåliga.

Visst går det att göra starka, långlivade limfogar.

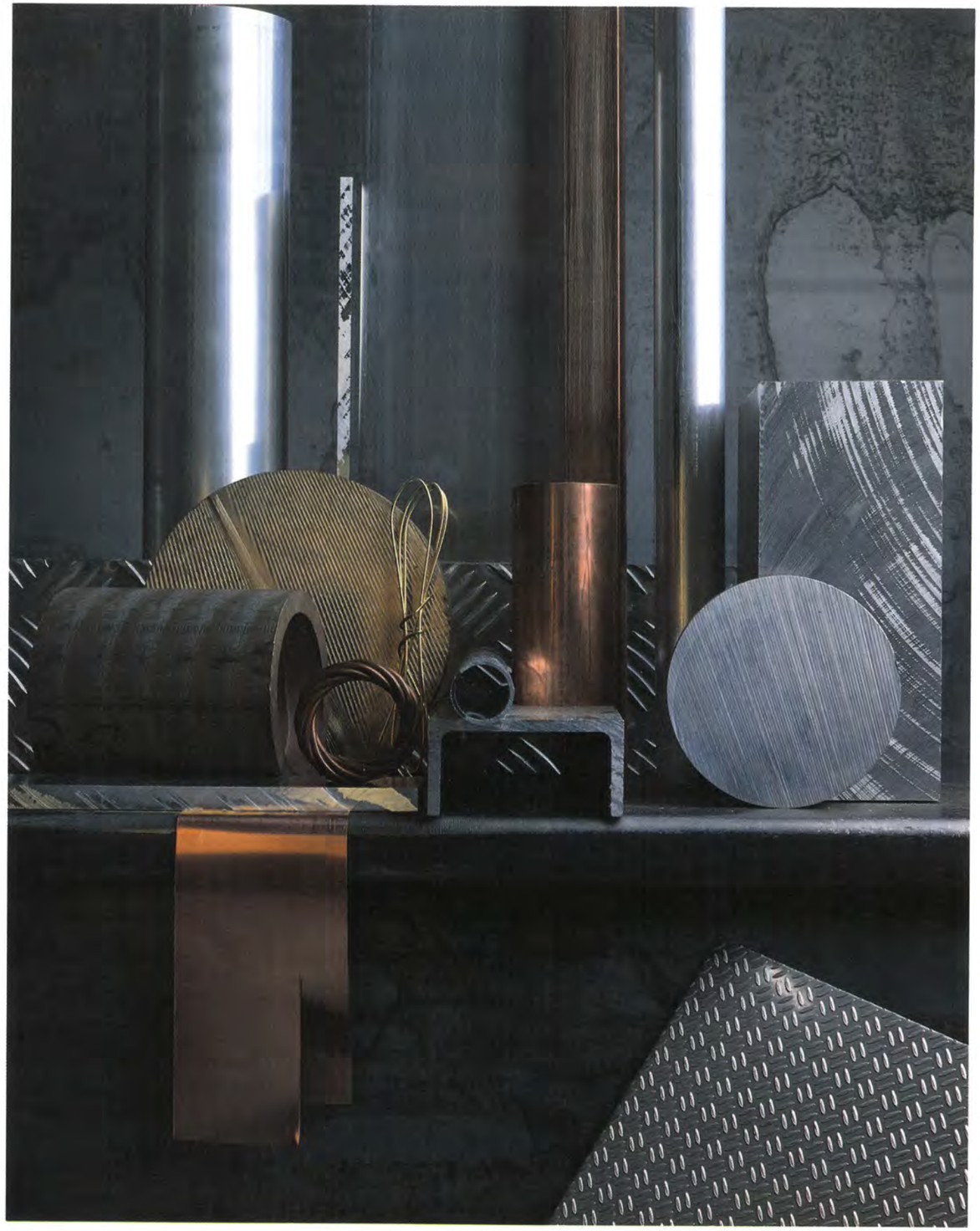
Det går att göra starka, långlivade limfogar! Kan limfogen bli utmattad?

Limfogar används i flygplanskonstruktioner som sprickdämpare. Uppstår en utmattningsspricka i en metallplåt, fortplantar sig denna spricka avsevärt saktare när den kommer fram till en limfog. Vid vibrationer med höga frekvenser dämpar limfogen vibrationen. Limfogar är generellt sett mycket tåliga mot utmattning. Den utmattning man bör vara uppmärksam på, är den eventuella krypningen hos högt belastade limfogar — framförallt om belastningen sker vid förhöjd temperatur.

Sammanfattningsvis inverkar följande på hur gammal en limfog kan bli:

- Vilket material man limmar emot.
- Hur materialet är förbehandlat.
- Vilket lim som användes.
- Användningsmiljön
- Belastningen
- Temperaturen

  } Synergin
- Hur limfogen är utformad (inverkan av spänningstoppar i fogkanterna).
- Hur man utför limningen.
  - Primer
  - Temperatur och luftfuktighet i arbetslokalerna
  - Limspridning
  - Härdningstemperatur
  - Etc.



Limning av metall.

Konstruktionslim för metall är alla baserade på plaster. För att utnyttja metallens hållfasthet bör man välja lim och utforma limfogen med stor omsorg.

Det finns flera skäl att förbehandla metallen före limning. Det första skälet är att åstadkomma en yta som är ren och hållfast att limma emot. Det andra skälet är att ge metallytan ett korrosionsskydd för att säkerställa långtidshållfastheten hos limfogen. Ett tredje skäl kan vara att ge ytan en "topografi" som gör att limmet lättare rinner ner i ytprofilens dalar.

Lätt avverkning (slipning) ger en ren metallyta. Här kommer ytan att beläggas med naturlig oxid. Borstning med slipnylon eller roterande sk Alonyl-borstar är en lämplig mekanisk förbehandling för alla metaller. Se vidare under *"Behöver ytorna vara rena."*

Nedan presenteras förbehandlingsmetoder för olika metaller.

Aluminium.

Avfettning.

Avfettningen ger en yta som visserligen är fettfri, men ändå inte speciellt lämplig att limma emot. Aluminium i leveranstillstånd har ofta en stor andel magnesium i ytan. Magnesiumoxider är mindre hållfasta och har sämre beständighet än aluminium-oxider.

Borstning.

Borstning med slipnylon eller sk Alonyl-borstar ger en lätt avverkning av ytan utan att nämnvärt ändra materialets dimensioner. Oxiderna försvinner från ytan, men nya bildas praktiskt taget omedelbart. De nybildade oxiderna innehåller dock mindre magnesium. Borstning med slipnylon eller Alonyl-borstar är en lämplig förbehandling för limfogar som skall användas i torr miljö. Limfogar med borstade aluminiumytor kan få en relativt lång livslängd även i utomhusmiljö. Så småningom får man dock räkna med en hållfasthetsnedsättning. Är limfogarna belastade så blir livslängden kortare.

Kromatering.

Iridite- och Alodinbehandlingar (doppning vid 20°C), ger ett relativt gott korrosionsskydd för aluminiumytor. Det används bl a före målning. Kromatskiktet är dock sprött och limfogarna kan inte belastas mer än med måttliga laster. För limning bör man sträva efter att få ett tunt kromatskikt.

Krom/svavelsyra-etsning.

Metoden har använts av amerikansk flygindustri i många år. Man får en yta med lämplig topografi som har förutsättningar att ge mycket hållfasta limfogar. Begränsningen för metoden är användning i saltvattenmiljö. Det sk barriärskiktet har då visat sig vara för tunt.

Behandlingsgång:

1. Avfettning i alkalisk tvättlösning vid 65°C.
2. Sköljning.
3. Etsning under 5 min vid 82°C i lösning bestående av:

   35 gram kromsyra

   100 gram koncentrerad svavelsyra

   1000 gram destillerat vatten
4. Sköljning i avjoniserat vatten.
5. Torkning i ren luft.

(Observera de miljöhänsyn som måste tas vid arbete med kromsyra!)

Anodisering (eloxering).

De beständigaste oxiderna erhålles genom anodisering (även kallad anod-oxidering och eloxering). Som kanske framgår av namnen är detta en elektrolytisk process.

Anodisering i kromsyra och i svavelsyra utföres lämpligen av ytbehandlingsföretag som har utrustning och möjligheter att ta hand om avloppsvatten på korrekt sätt.

Anodisering i fosforsyra är en relativt ny metod. Behandlingen ger dessutom oxider som är mycket känsliga för beröring. Direkt efter torkning måste dessa beläggas med en primer som skyddar de känsliga oxidskikten. Anodisering i fosforsyra lämpar sig därför mindre väl för legobehandling. Metoden beskrivs nedan.

Behandlingsgång:

Först genomföres krom/svavelsyra etsning enligt föregående metod (1—4).

5. Därefter sker anodisering under 20—25 minuter vid en spänning av 15 +/− 1 Volt i ett bad bestående av:

   110 gram H_3PO_4 (fosforsyra)

   1000 gram avjoniserat vatten
6. Sköljning i avjoniserat vatten inom 150 sekunder
7. Torkning i ren luft, max 71°C.

Som nämnts under *"Hur gammal kan en limfog bli"* ger den ovanstående metoden den högst belastbara oxiden — under förutsättning att en primer som "matchar limmet" användes. Provningar under 2 år av belastade limfogar i korrosiv saltvattenmiljö, visar att behandlingen klarar en last av mer än 12 N/mm² utan att brott i oxiden uppstår.

Jämförelser mellan olika anodiseringar:

För att kunna utnyttja de goda korrosions- och belastningsegenskaperna hos fosforsyraanodiseringen krävs att ett mycket gott konstruktionslim användes (oftast i filmform för värmehärdning).

Europeisk flygindustri har under årtionden använt sig av kromsyraanodisering. Denna ger ett mycket gott korrosionsskydd och kräver inte primer före limning. Vid jämförande belastningsprov i korrosiv saltvattenmiljö kunde detta dock högst belastas med ca 6 N/mm².

Eftertätning av oxidskikten skall ej ske om kromsyraanodisering användes.

Anodisering i svavelsyra.

Denna behandling ger tjocka, korrosionsbeständiga oxider. Vid hög belastning finns dock risk för att oxidskiktet skall delaminera (det är alltså inte limmet som släpper — även om det kan se ut så). I korrosiv saltvattenmiljö kan svavelsyraanodiserade ytor belastas med ca 3,5 N/mm².

Eftertätning av oxidskiktet sker alltid vid svavelsyraanodisering. Slopas eftertätningen får man en yta som ger bättre mekaniskt grepp för limmet och kan belastas mer. Samtidigt får man dock en yta som är mycket mottaglig för smuts. Fingeravtryck och fettfläckar uppstår lätt på ytor utanför limfogen.

Skall limning ske mot svavelsyraanodiserade ytor som eftertätas, väljer man gärna ett elastiskt lim som sprider lasterna över ytan. Då håller det bättre.

Oberoende av förbehandlingsmetod, förbättras hållfastheten och långtidsbeständigheten om en tunnflytande primer användes — speciellt då relativt högviskösa (tjockflytande) lim användes.

Förbehandling av aluminium som skall användas i korrosiv miljö:

Sämst

⬆

- Valsyta
- Slipning
- Blästring
- Kromatering (vid låg belastning)
- Anodisering i svavelsyra
- Krom-svavelsyraetsning
- Anodisering i kromsyra
- Anodisering i fosforsyra (+ primer)

⬇

Bäst

Stål.

Stål (eller järn) har inte ägnats lika mycket intresse som limning av aluminium. Detta beror troligen på att det finns bra svetsmetoder för stål och på att det inte finns så mycket järn i ett flygplan.

Järn eller stål har vi mycket av i vår närmiljö — en del rostar, en del rostar inte! Vi har många verktyg av obehandlat stål som inte rostar — och så har vi bilar...

Det finns två sorters naturligt utvecklad oxid på stål. Dels den som uppstår då stål förvaras vid 20°C och en relativ luftfuktighet som inte överstiger 55 %. Dels finns det rödrost! På stål som befriats från föroreningar och glödskal, t ex genom blästring, uppstår energirika oxider, som är mycket lämpliga för limning — om ytorna får oxidera i luft med max 55 % relativ fuktighet.

Provningar har visat att långtidsbeständigheten blir bättre om oxiden får tillväxa under ca 14 dagar. Givetvis måste man då se till att ytorna inte smutsas ner under denna tid.

Slipning kan tyckas ge ett resultat liknande det som blästring ger. I praktiken ger det dock ofta både sämre initialhållfasthet och långtidsbeständighet. Detta kan ha två orsaker. Dels ger slipning en annan profil hos ytan, vilken är svårare att fylla med lim, dels ger blästring en komprimering av ytan, vilket minskar risken för spänningskorrosion.

Det gäller alltså att hålla borta vattnet från gränsytorna.

Det kan bara göras på två sätt:

1. Hålla limfogen torr.
2. Göra limfogen så välfylld så vattnet inte får plats i gränsskiktet mot stålet.

Det senare kräver en tunn primer om inte mycket lågviskösa lim användes.

Det finns också möjlighet att på kemisk väg åstadkomma en beständigare järnoxid.

Behandlingsgång:

1. Stål som slipats, blästrats, eller betats, behandlas 2—10 minuter vid 90°C i en lösning av:

   50 gram kaliumjodid

   500 gram koncentrerad fosforsyra

   500 gram vatten
2. Skölj i avjoniserat vatten.
3. Torka i ren luft.

Förbehandling av stål:

Sämst

⬆

- Avfettning
- Betning
- Finslipning (ca 320 mesh)
- Blästring (sand)
- Kaliumjodid/fosforsyra behandling

⬇

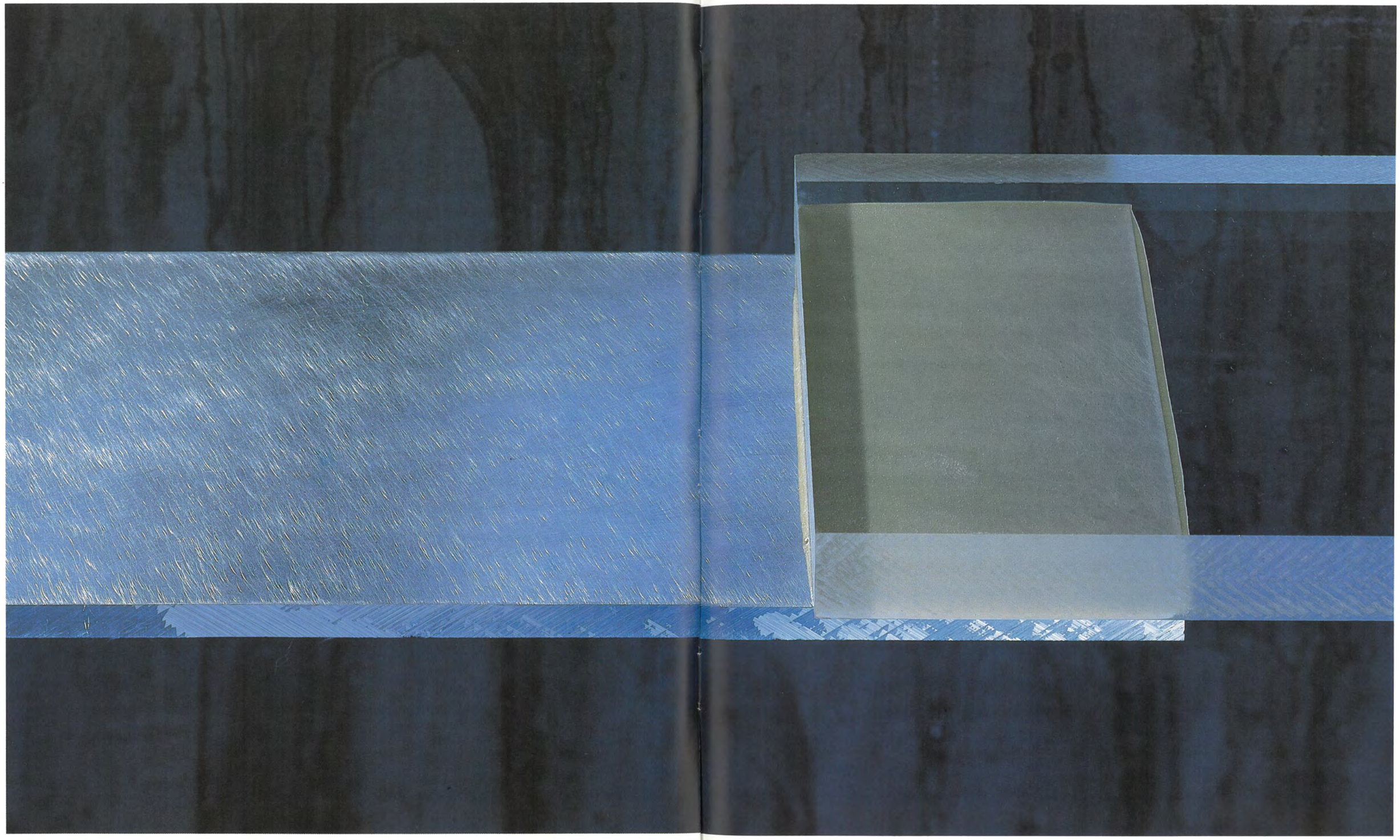
Bäst

Primer typ polyvinylbutyral med fosforsyrahärdare har visat sig vara lämplig bl a vid limning med polyuretanlim. För konstruktionslim på epoxibas finns epoxiprimer.

Rostfritt stål.

Rostfritt stål borde ju inte behöva någon annan förbehandling än rengöring — det är ju rostfritt! Krom- och nickeloxider — som ju är de som gör stålet rostfritt — är dock inte det allra starkaste underlaget för limning.

Finslipning är användbart, men inte att rekommendera för fogar som utsätts för korrosiv miljö.



Blästring är bättre, där det går att använda (mindre sårig yta och tryckspänningar i stället för dragspänningar i ytan). Möjligheter till kemisk förbehandling, som ger hållfastare oxider, finns.

Behandlingsgång:

1. Avfettning i alkalisk tvättlösning.
2. Sköljning.
3. Behandling i 2—10 minuter vid 90°C i följande lösning:
   50 gram kaliumbromid
   500 gram koncentrerad fosforsyra
   500 gram avjoniserat vatten
   5 gram koncentrerad svavelsyra
4. Sköljning i avjoniserat vatten.
5. Torkning i ren luft.

Bäst resultat ger anodisering i fosforsyra, enligt den metod som beskrivits under Aluminium!

Förbehandling av rostfritt stål:

Sämst

- Avfettning
- Slipning
- Blästring
- Kaliumbromid/fosforsyra behandling
- Anodisering i fosforsyra

Bäst

Primer typ polyvinylbutyral med fosforsyrahärdare för polyuretanlim, epoxiprimer för epoxilim då primer krävs.

Varmförzinkat stål.

Galvat stål rostar inte. Nej, men zinken offras för att stålet skall bestå. Zink oxiderar! Varmförzinkad plåt som lagras fuktigt brukar får vitrost (zinkhydroxid) mellan plåtarna.

Vid varmförzinkning används flussmedel. Detta flussmedel kan ge en beläggning ovanpå zinken.

Varmförzinkat stål kan också ha ett kromatskikt på toppen eller vara belagd med rostskyddsolja. Före limning bör varmförzinkat material utsättas för en lätt avverkning. Borstning med fin slipnylon eller Alonyl-borstar är en bra förbehandling, som inte nämnvärt minskar zinkskiktet.

Primning med wash-primer typ polyvinylbutyral med fosforsyrahärdare ger en mycket positiv effekt (efter borstningen), då limning sker med polyuretan — eller epoxilim.

Elförzinkat stål.

El-förzinkningen ger inte samma problem med flussmedel. Hanteras materialet (oftast plåt) så att det inte smutsas ned kan limning oftast ske utan vidare förbehandling. Kommer limfogarna att utsättas för fukt ger primning, som för varmförzinkning, en väsentligt ökad livslängd.

Koppar, mässing och brons.

Koppar kan som vi vet ärga. Det kan även mässing. Ärgen skyddar metallen från vidare korrosion. Oxidernas hållfasthet gör dem mindre lämpliga för belastade limfogar.

Avfettning kan vara tillräckligt för måttligt belastade fogar som skall användas inomhus.

Finslipning ger ett något säkrare resultat, men inomhusanvändning rekommenderas.

Etsning är också möjlig:

1. Under 1—2 minuter vid 20°C i en lösning av:
   0,75 delar järnklorid
   1,5 delar salpetersyra
   10 delar vatten
2. Skölj därefter i rinnande vatten.
3. Doppa i destillerat vatten.
4. Blås torrt med luft vid 20°C.

Korrosionsbeständigheten kan förbättras med följande behandling:

1. Avfetta i lösningsmedelsånga.
2. Etsa under 30 sekunder vid 20°C i en lösning bestående av:
   75 delar koncentrerad fosforsyra
   10 delar salpetersyra
   15 delar vatten
3. Skölj i rinnande vatten.
4. Doppa under 5 minuter vid 90°C i en lösning bestående av:
   1 del natriumhydroxid
   1 del kaliumpermanganat
   100 delar vatten
5. Skölj i vatten.
6. Torka i ren luft.

Även för koppar, mässing och brons gäller att åstadkomma välfyllda ytprofiler hos metallen.

Krom.

Erfarenheten säger att det inte är så lätt att få hållfasta fogar mot förkromade ytor. Detta kan delvis bero på de förhållandevis jämna ytorna, men även på kromoxiden.

Finslipning ger en viss förbättring av hållfastheten, men bättre hållfasthet får man genom etsning enligt följande:

1. Etsa i 1—5 minuter vid 90—95°C i en lösning bestående av:
   17 delar saltsyra (37%-ig)
   20 delar vatten
2. Skölj i rinnande varmt vatten.
3. Doppa i destillerat vatten.
4. Torka i ren, varm luft.

Nickel.

Erfarenheterna är desamma för nickel som för krom. Hållfastheten förbättras något genom finslipning.

Etsning ger viss förbättring:

1. Etsa under 5 sekunder vid 20°C i salpetersyra (67%, spec. vikt 1,41)
2. Skölj i kallt vatten.
3. Skölj i varmt vatten.
4. Torka i luft vid 40°C.

Andra metaller — andra metoder.

Det finns fler metaller än de här behandlade. Litteraturen beskriver många alternativa metoder även för de metaller som behandlas här. För den som saknar uppgifter eller vill veta mer om de alternativa metoderna rekommenderas studie av *Adhesives Handbook* eller kontakt med någon limningskunnig.

Limning av plast och gummi.

Det är svårare att limma plast och gummi än att limma trä, metaller och keramiska material.
— Varför?

Det lär finnas mer än trettiotusen olika plastformuleringar.

Lim är också baserade på plast.

Grundförutsättningen för att man ska kunna limma ett material är att limmet väter materialet.

Någon av dessa 30 000 plaster skall alltså vätas av en annan plast.

Vilken plast är det som skall limmas? Vet vi inte det, återstår väldigt mycket provning.

Genom att ta reda på så mycket som möjligt om den aktuella plastdetaljen, blir det lättare att finna lämpliga lim.

- Är det en termoplast eller en härdplast?
- Vilken plasttyp är det? PVC, nylon, akryl, polykarbonat etc.
- Har plasten ett namn? Delrin, Lexan, Plexiglas, Noryl etc.
- Hur är detaljen framställd?
- Används släppmedel?
- Hur stora är fogytorna?
- Hur många detaljer skall limmas?
- I vilken miljö skall limfogen användas?
- Skall plasten limmas mot samma plast eller mot ett annat material? — Vilket?

Vet man svaret på dessa frågor går det lite lättare, för alla plaster går att limma, med mer eller mindre besvär och med mer eller mindre gott resultat.

Vissa plaster måste ytomvandlas för att vara vätbara, andra ger inte ens efter denna ytomvandling fogar med samma styrka som grundmaterialet.

En uppställning över limbarheten hos några vanliga plast- och gummimaterial som inte ytomvandlats, blir en direkt kopia av ytspänningsdiagrammet:

Tabellen på nästa sida visar möjligheterna att limma plaster och gummimaterial som endast har rengjorts.

Möjligheterna att limma plaster och gummi ökar om man är beredd att höja deras ytspänning genom någon form av ytomvandlande metod.

Många gummimaterial blir mycket lättlimmade om man behandlar dem i koncentrerad svavelsyra. Teflon blir relativt lättlimmat, tex med epoxilim, om man behandlar det i bad som innehåller natrium. Polyeten och polypropen får ökad ytspänning efter behandling med oxiderande låga, corona-behandling (elektriska fält), eller i syrabad.

Med tanke på det stora antalet olika plaster och att det finns ett antal olika metoder att ytomvandla många material, plus att metoderna bör beskrivas noga för att kunna tillämpas, har vi valt att inte presentera dem i denna bok. Materialet finns tillgängligt för den som så önskar (se *Litteraturförteckning).*

Då man arbetar med en konstruktion, som kommer att innehålla plast- eller gummimaterial, som skall limmas, kan det vara lämpligt att göra vissa

Ytspänning.

(10^{-1} Pa)

Svårast

↑

10	Poly (1H, 1H-pentadecafluoroctylacrylat)
19	Polytetrafluoreten (Teflon)
24	Silikon, polydimetyl
27	Butylgummi
31	Polyeten
31	Polypropen
31	Naturgummi
31	Polyisopren
32	Polybutadien
32	SBR-gummi
32	Polyisobuten
33	Polystyren
38	Polyuretan
38	Polykloroprengummi (neopren)
38	Polybutadien-akrylonitril-gummi
38	Polyvinylacetat
39	Polymetylmetakrylat (Plexi)
39	PVC
39	Cellulosaacetat
39	Cellulosanitrat
39	Epoxi
40	Polyvinylidenklorid (Saran)
43	Polyamid (nylon 6,6)
43	Polyetylentereftalat (Arinite)
43	Polyoxymetylen (Delrin)
44	Polyakrylonitril
44	Polykarbonat
51	Resorcinol
51	Polyester (omättad)
51	Fenol (bakelit)
52	Polyamide-epichlorohydrin
61	Urea-formaldehyd

↓

Lättast

Diagrammet visar möjligheterna att limma plast och gummimaterial som endast rengjorts. Siffrorna anger ytspänningen i 10^{-1} Pa.

undersökningar *före* det slutliga valet av material:

- Graden av limbarhet för materialet (motsvarar den förväntningarna?)
- Svårighetsgraden för införande av ytomvandlingsmetod och resultatet av denna.

Möjligen kan det visa sig att man istället bör koncentrera sig på att hitta ett material som är enklare att limma.

Vissa plaster är sina egna lim.

Många termoplaster kan fogas genom att man smälter ihop dem. Genom uppvärmningen ökas avståndet mellan molekylerna och materialet blir mjukare, så att det kan pressas samman.

På motsvarande sätt kan man mjuka upp materialet genom att låta det absorbera lösningsmedel. Så länge som materialet innehåller lösningsmedel kan det fås att smälta samman. När lösningsmedlet så småningom letat sig in djupare i materialet (för att efter relativt lång tid försvinna helt), blir plasten hårdare igen och limningen är klar. Denna lösningsmedelsupptagning ger upphov till spänningar och rörelser i fogen, vilket gör att den endast lämpar sig för fogar i samma plast. Den kan dock utgöra en möjlighet att foga vissa svårlimmade material, utan att kräva ett lim med lägre ytspänning. Det räcker med att lösningsmedlet väter materialet.

Tabellen på nästa sida visar några material som är möjliga att lösningsmedelslimma.

Genom att lösa upp lite av den aktuella plasten i lösningsmedlet, får man ett lim som inte rinner lika lätt som lösningsmedlet. Man bör dock komma ihåg att det ibland är ganska otrevliga lösningsmedel man arbetar med samt att metoden inte ger täta, fyllande fogar.

En mattslipad plast ger som regel ett bättre limningsresultat.

Slipning, t ex med slipnylon A 320, ger bl a följande resultat:

- En ren yta.
- En yta som befriats från lågmolekylära skikt och eventuellt också från släppmedel.
- En större verklig yta än den projicerade. Detta gör att ytan innehåller mer fri ytenergi per cm^2,

vilket kan "lura" limmet att väta, även om ytspänningen hos materialet egentligen är för låg.

Slipning i flytande lim är ingen metod att rekommendera för produktionen. För enstaka limningar kan den dock vara möjlig att använda för att ge en viss förbättring. Genom att applicera lim på ytan och sedan slipa i — och igenom — det pålagda limskiktet, kan man erhålla en sorts tvångsvätning. Man tillför alltså energi och tvingar lim och yta inom 5 Å. Metoden gör inte omöjliga material/limkombinationer möjliga, men ger av erfarenhet en viss förbättring.

Limning av plastkompositer.

Utvecklingen av armerad plast och utvecklingen av limning är näraliggande områden. För armerad plast ger dessutom limning stora fördelar, då man inte behöver göra hål i materialet och därmed förstöra fibrernas "kraftlinjer".

Det förekommer fiberarmerade härdplaster och termoplaster med fiberinblandning. När det gäller termoplaster med fiberinblandning är oftast fiberlängden relativt kort och fibrerna oorienterade. Ur limningssynvinkel blir det vanligen detsamma som att limma den oarmerade plasten, d v s ytspän-

Plaster som kan lösningsmedelslimmas.

	Aceton	Aceton : etylacetat : cellulosaacetatbutyrat (40:40:20)	Aceton : etylaktat (90:10)	Aceton : metoxymetylacetat (80:20)	Butylacetat : aceton (70:30)	Butylacetat : metylacetat (50:30:20)	Etylacetat	Etylacetat : etanol (80:20)	Etylendiklorid	Etylendiklorid : metylenklorid (50:50)	Glycerin : vatten (15:85)	Metylacetat	Metylenklorid	Metylenklorid : metylmetakrylat monomer (40:60)	Metylenklorid : metylmetakrylat monomer (60:40)	Metyletylketon	Metylisobutylketon	Metylmetakrylat monomer	Tetrakloretylen	Tetrakloretan	Tetrahydrofuran : cyclohexanon (80:20)	Toulen	Toulen : etanol (90:10)	Toulen : metyletylketon (50:50)	1,1,2-trikloretylen	Trikloretylen	Xylen	Xylen : metylisobutylketon (25:75)	Ättiksyra
ABS (akrylbutadienstyren)																*	*						*				*	
Cellulosaacetat	*		*	*	*	*		*				*																
Cellulosaacetatbutyrat	*	*	*	*	*	*		*				*																
Cellulosanitrat	*							*				*																
Cellulosapropionat				*																								
Etylcellulosa									*													*						
Polyamid (Nylon)																												*
Polykarbonat										*	*			*					*					*				
Polymetylmetakrylat										*				*	*			*										
Polystyren								*					*			*			*		*					*		
PVC och sampolymerer (acetat)																*	*			*							*	
Polyvinylalkohol												*																
Polyfenylenoxid																												*
Styrenacrylonitril						*	*									*												
Styrenbutadien	*															*	*											

ningen hos matrisen (plasten) avgör limvalet.

Härdplastkompositer har vanligen fibrerna orienterade i laminatets plan. Detta gör att materialet kan uppvisa en stor hållfasthet i fiberriktningen, men inte nödvändigtvis ha hög delamineringshållfasthet. Matrismaterialet är ofta av relativt hård plast, vilket gör att spänningskoncentrationer lätt resulterar i delaminering av ytskiktet. Slipning eller blästring för att avlägsna matrisen och frilägga armeringsmaterialet kan förbättra hållfastheten. Valet av ett lim med större elasticitet kan också ge ett förbättrat limningsresultat. Se också *"Hur bör man utforma limfogen?"*

Handupplagd polyester kan ge limningsproblem. Limning bör endast ske mot ytor som är fullt uthärdade. Polyesterytor, som under framställning är utsatta för luft, härdar aldrig ut helt.

Polyesterlaminatets glansiga, något ojämna baksida är som regel aldrig lämplig för limning. Vid måttlig uppvärmning kan man ofta konstatera att ytan blir klibbig. (Detta kommer i så fall att ske även efter limning — och vi får en limfog med mycket låg värmehållfasthet.)

Konstateras ingen klibbighet har man skäl att anta att baksidan har en vaxbeläggning. Vax tillsättes ofta polyestern för att få en yta som skyddar mot luft under härdning. Inte heller vaxytan är lämplig för limning.

Polyesterlaminat avsedda för limning bör framställas direkt avsedda för detta:

- Med baksidan slipad maskinellt vid framställning (slipning i klibbiga skikt avlägsnar som regel inget ytmaterial, utan bara "rör omkring i smeten").
- Eller genom att en tunn termoplastisk polyesterfolie (t ex Mylar från Du Pont) valsas på laminatet, då sista mattan vätts med polyester. Denna folie är lätt att dra av sedan laminatet härdat ut. Folien kan eventuellt sitta kvar till omedelbart före limning, för att skydda mot nedsmutsning.

Polyestertypen som används skall vara paraffinfri. Rådgör här gärna med tillverkaren.

Vid limning mot formytan måste denna vara släppmedelsfri. Släppmedlet kan gå att avlägsna genom tvättning med vatten tillsatt med rengöringsmedel. Ibland är dock slipning nödvändig.

Mjukgörarvandring hos PVC.

PVC utan mjukgörare är hård. Mjukgöraren som finns i materialet, fungerar som smörjmedel mellan molekylkedjorna. Mjukgöraren är inte bunden till materialet. Den har alltså möjlighet att vandra över i limmet — om limmet tillåter det.

Vanliga, kloroprengummibaserade kontaktlim är inte mjukgörarbeständiga. Efter en tid har limmet blivit mjukare — ibland som en dålig tejp.

Mjukgörarbeständiga lim för PVC kan vara baserade på:

- Nitrilgummi
- Polyuretangummi
- Akryldispersioner

Cyanoakrylat och polyuretanlim är bra plastlim.

Skall man prova limbarheten den handgripliga vägen, d v s prova utan att veta, är cyanoakrylat för smålimningar och polyuretanlim för större och fyllande fogar en bra start (men den systematiska vägen är som regel alltid bättre).

Silikon kan bara limmas med silikonlim (nya primers i kombination med cyanoakrylat kan dock vara användbara).

De relativt nya, tämligen långsamhärdande 1-komponentsilikonerna, med ett härdsystem typ oxim eller alkohol, har visat sig ha god vidhäftning mot flera termoplaster, t ex ABS, polystyren (PS), PVC, polykarbonat (PC), acetal (POM, Delrin) och polyamid (PA, nylon).

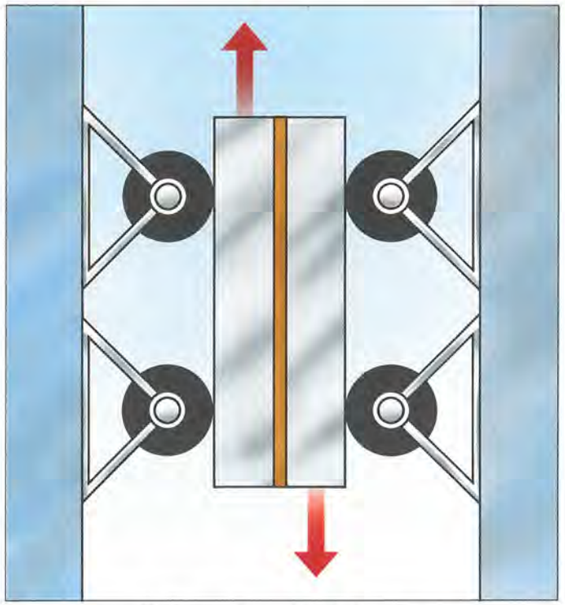
Hur bör man utforma limfogen?

Av erfarenhet och tradition säger man att en limfog skall konstrueras, så att den vid belastning utsätts för skjuvbelastning. Alla andra belastningstyper (drag, klyv och fläk) ger upphov till spänningskoncentrationer som minskar hållfastheten.

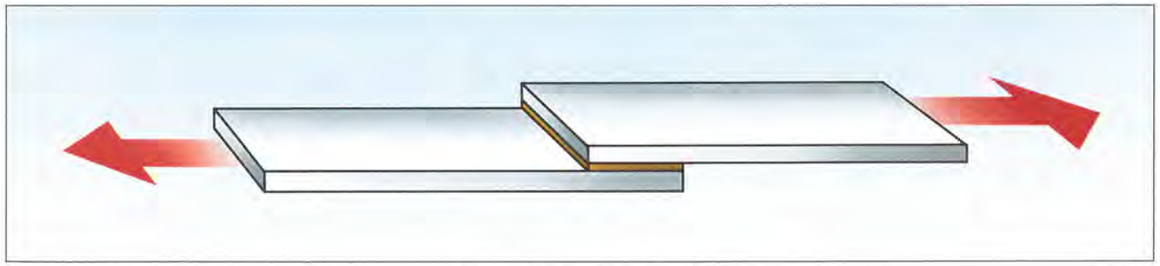
I praktiken finns det ytterst få limfogar som belastas med en jämnt utbredd skjuvlast.

För att få en jämnt fördelad skjuvbelastning, där limmets verkliga skjuvhållfasthet blir helt utnyttjad, krävs att de limmade materialen är så styva att de inte deformeras av belastningen. Det är också nödvändigt att belastningen kan styras så att det verkligen blir skjuvlast.

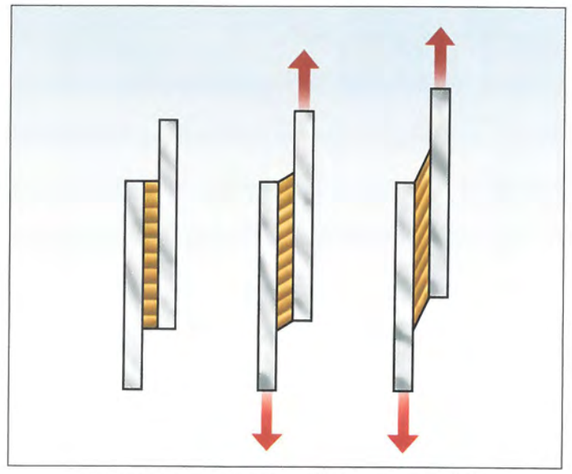
I en rent skjuvbelastad limfog blir hållfastheten högre ju skjuvhållfastare, dvs hårdare, lim som användes. Detta är den fogutformning man bör sträva efter. Den bistra verkligheten blir oftast något annorlunda. Låt oss därför se på några vanliga limfogar och försöka utnyttja dessa så långt som möjligt.



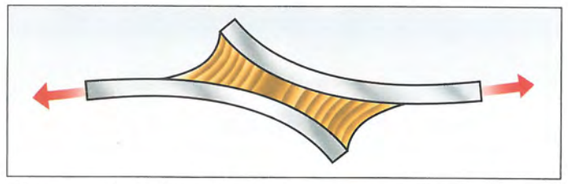
En fog med ren skjuvbelastning.



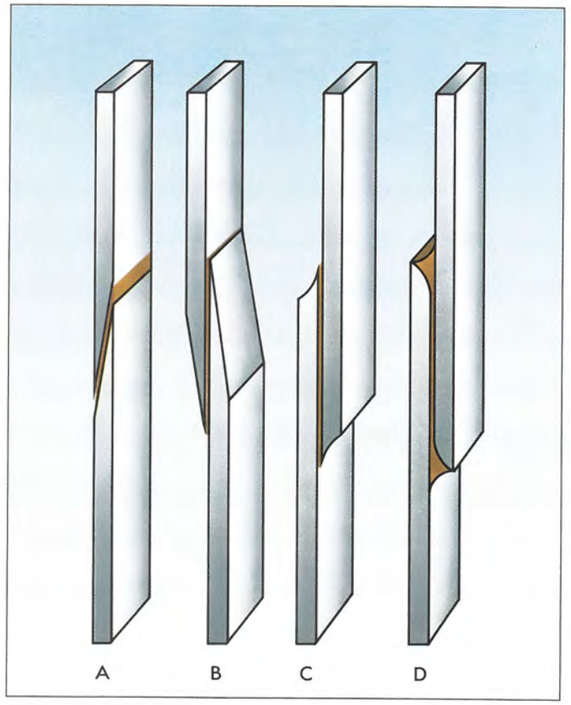
Den enkla överlappsfogen.



Vid belastning töjer sig de limmade materialen.



Det uppstår ett böjande moment när materialen sträcks och ställer sig i linje med belastningen.



Den enkla överlappsfogen förefaller vid första betraktelsen att utsättas för renodlad skjuvbelastning. Studerar man den mer ingående, märker man att den inte är så idealisk. Vid belastning töjer sig de limmade materialen — oftast inte så mycket att det syns — men limfogen känner av det.

Bilden kompliceras ytterligare av att det uppstår ett böjande moment när materialen sträcks och ställer sig i linje med belastningen. Det resulterar i en dragpåkänning i limfogens kanter.

Det är denna deformation i limfogens kant som ger upphov till eventuella brott.

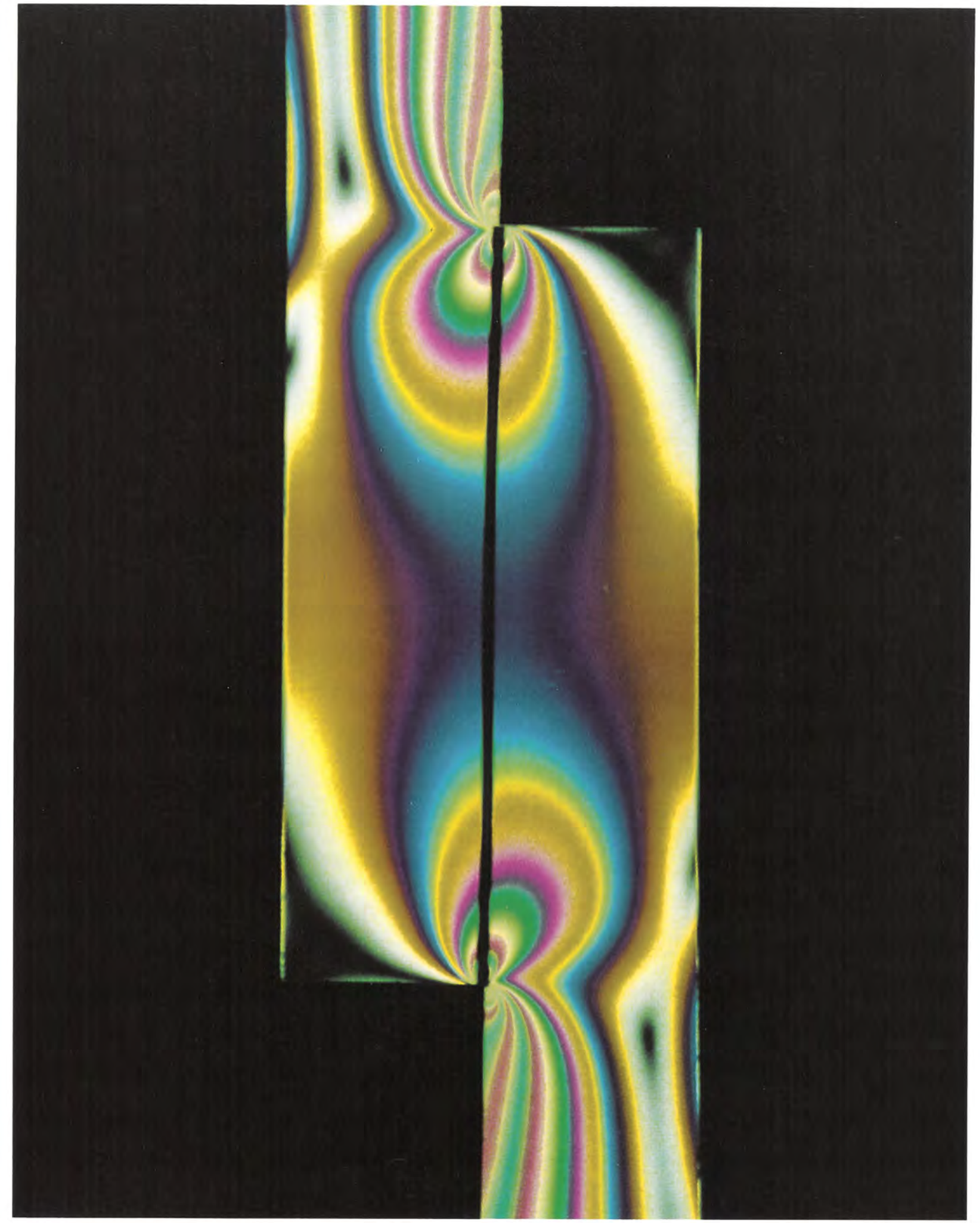
Praktiskt taget alla brott i limfogar startar i limfogens kanter. Valet mellan hårda eller elastiska lim kan få en avgörande betydelse för limfogens hållfasthet. Det är inte alltid som de "starkaste limmen" ger den högsta brottlasten. Det räcker inte med att limmet håller. De ytor som man limmat emot måste ju också kunna överföra belastningen.

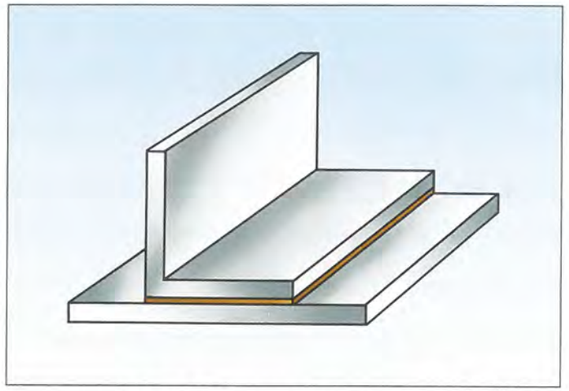
Sett med sk spänningsoptik kan kraftflödet i en överlappsfog se ut som på bilden till höger.

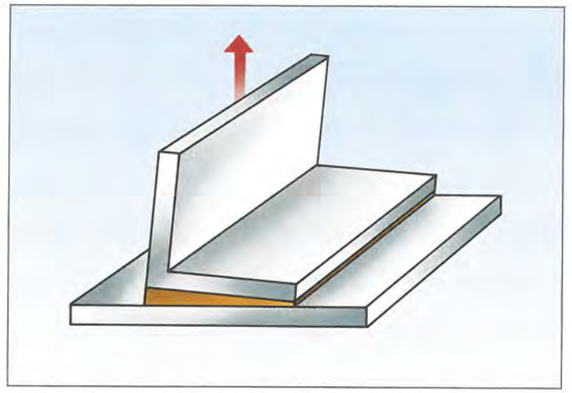
Skall man då alltid använda lim som ger elastiska fogar?

Svaret på den frågan bör bli att man skall inte använda hårdare lim än nöden kräver. Man kan tex ha högt ställda krav på motstånd mot krypning — kanske också i relativt hög temperatur. Dessa egenskaper finner man inte alltid hos de mjuka, elastiska limmen. Har man behov av högt belastade limfogar, blir man ibland hänvisad till lim som är dåliga lastspridare. Man får då istället koncentrera sig på att försöka modifiera materialen runt limfogen.

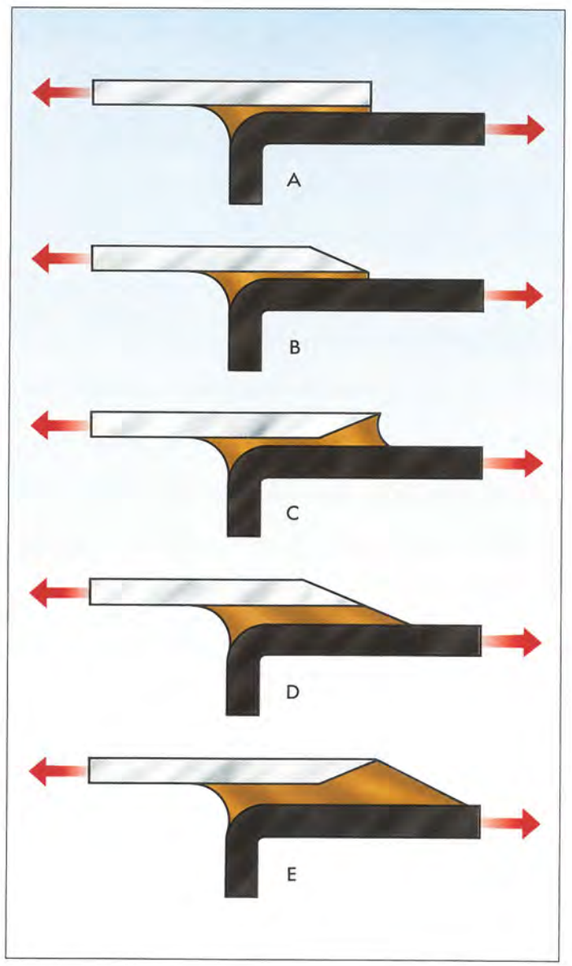
Fogen i A, på bilden till vänster, är så nära idealet man kan komma. B är något enklare att tillverka — och blir som A då den belastas. På C-fogen har man endast koncentrerat sig på den yttersta änden av fogen. I fallen A, B och C är det viktigt att den yttersta materialkanten är rakbladstunn för att någon effekt skall uppnås. I D har man istället lagt flytzonen i limmet. En tjockare limfog töjer sig mer än en tunn.







Vid dragbelastning kan brottlasten mångdubblas genom att ge fogen en kilform och välja ett mjukare lim.



Vid limning av kompositmaterial (t ex glasfiberarmerad polyester) kan man ibland ha problem med att delamineringshållfastheten är betydligt lägre än draghållfastheten. Ofta resulterar konstruktionerna i fogar som bilden ovan till vänster.

Här uppstår vid belastning stora spänningskoncentrationer som orsakar delaminering i laminatet. Genom att välja ett mjukare lim och ge fogen en kilform, som i högra bilden ovan, mångdubblas brottlasten.

Vid limning av kolfiberkompositer inom flygindustrin, uppstod liknande delamineringsproblem när laminatet skulle limmas till lättmetallstrukturen.

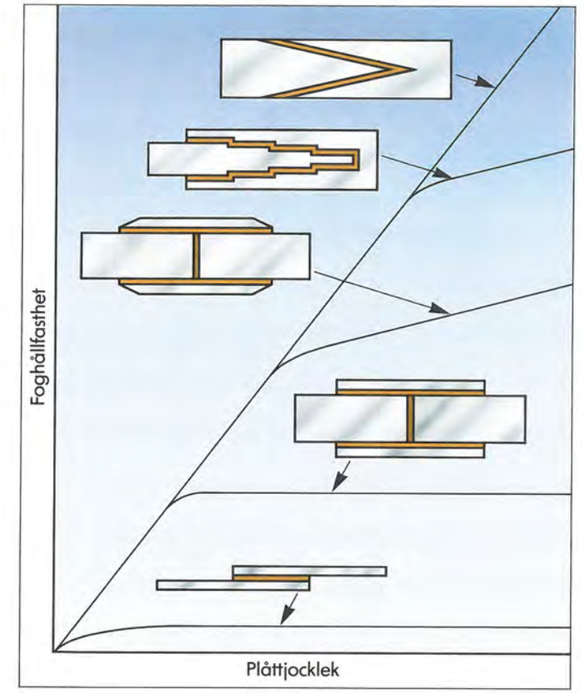
Fogen enligt A modifierades enligt B och C utan att någon positiv effekt uppnåddes. Genom att göra hela fogen flera gånger tjockare (som i D) tredubblades brottlasten. Vid utförande enligt E erhölls brottlaster som var 3,4 gånger högre än för A — med samma lim, samma foglängd, samma material och samma förbehandling!

Det är uppenbarligen inte så enkelt att man kan ta uppgifter från databladen och sätta in i en enkel formel, för att få reda på vilken fogyta som krävs.

De flesta hållfasthetsprovningar, vad gäller konstruktionslim för plast och metall, utförs på enkla överlappsfogar. Som vi sett av det föregående, får man en spänningsfördelning som inte kan uttryckas i jämnt fördelad last per ytenhet (N/mm²). Ett hårdare material i de limmade detaljerna ger t ex normalt en högre brottlast. Tjockare material ger ett större böjande moment, som i sin tur resulterar i en lägre brottlast.

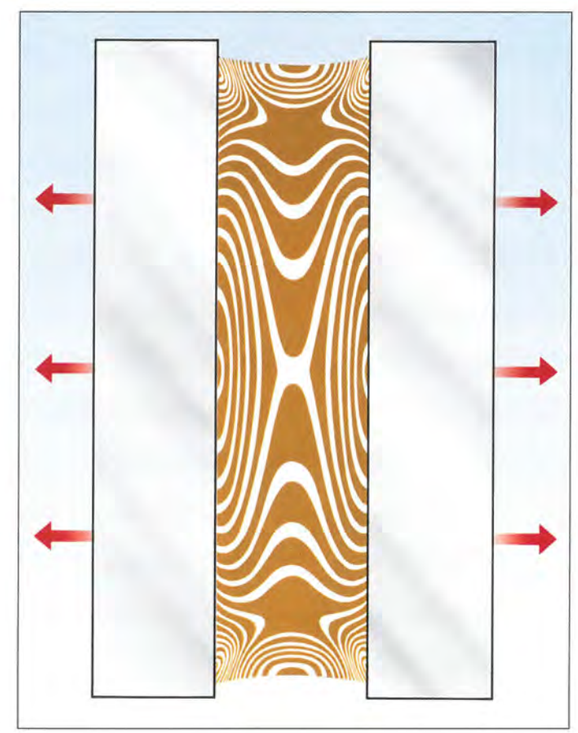
Genom att ta sig en rejäl funderare på kraftflödet i och över limfogen, kan man oftast förstå var påkänningen är som störst och vidta åtgärder för att minska belastningstopparna. Skissen till höger ger en antydan om hur man med olika fogutformning kan utnyttja limmet i olika hög grad.

Diagrammet gäller för aluminium av relativt hård kvalitet.



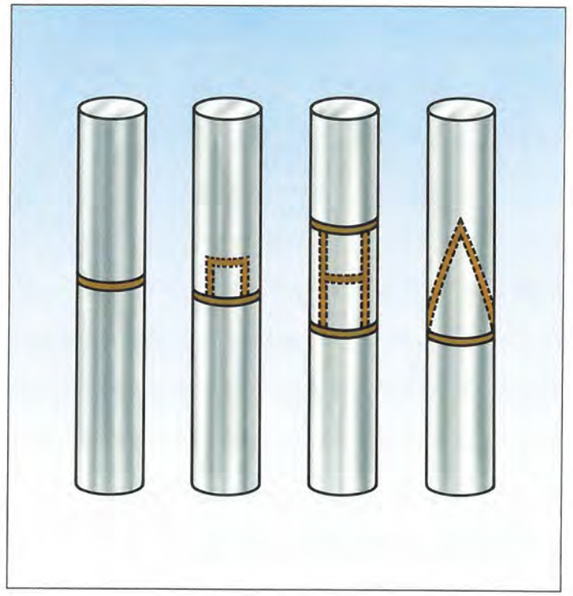
Stumfogen, där man limmar detaljerna ände mot ände, resulterar oftast i dragbelastning. Är limmet mjukare än materialen som limmas, kommer även betydande krafter att uppstå i limmets plan, eftersom en kontraktion i limmet uppstår vid belastning.

Sett med spänningsoptik kan kraftflödet i en dragbelastad stumfog se ut som till höger. Även här är det förbandets kanter som belastas högst och eventuellt ger upphov till brott.

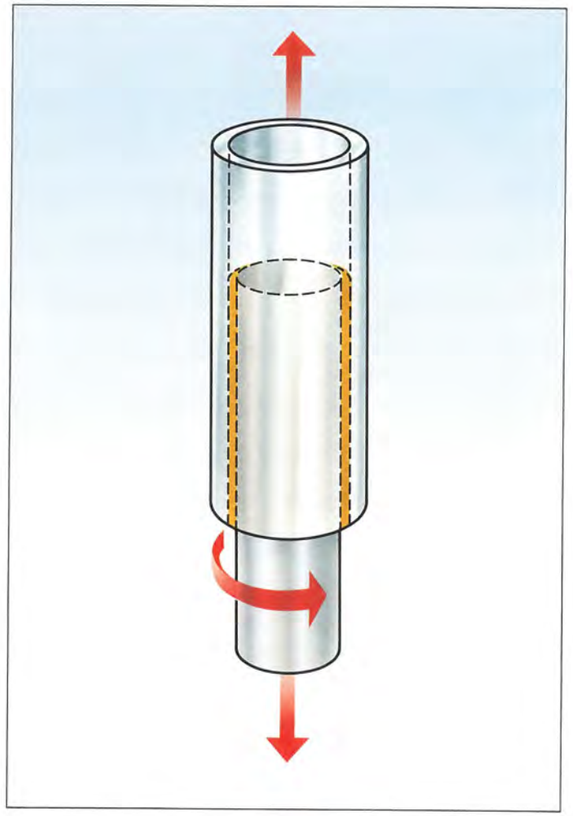


Värt att komma ihåg:

Utsätts en limmad konstruktion för miljöpåkänningar, som kan påverka limmet eller något av de limmade materialen, är det i de högst belastade fogkanterna som miljöfaktorerna kommer åt först.



Limfogar där dragbelastningen omvandlats till skjuvbelastning ger en högre hållfasthet. Och ändå tillverkas O-ringar av gummisnören med hjälp av stumfogar och hårda, spröda cyanoakrylatlim. Cyanoakrylaten är mycket hårdare än O-rings-materialet. I detta fall deformerar sig gummit runt den tunna spröda limskiva som limmet bildar. Limmet har mycket hög adhesion till gummit.



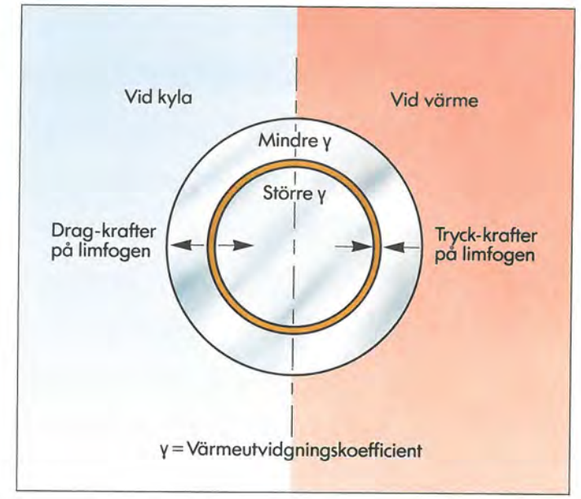
En mycket bra fogutformning utgör cylinder-fogen, förutsatt att den görs tillräckligt lång (minst 2 × diametern är en tumregel). Vare sig man trycker, drar eller vrider blir belastningen i form av skjuv-krafter. Vanliga tillämpningar är t ex kullagers- och bussningsmontering. Cykelramar lämpar sig också för dessa limfogar. Vad man inte bör glömma i sammanhanget är att detta är en låst konstruktion, där skillnader i temperaturutvidgningskoefficienter kan få betydelse för belastningen på limfogen, om temperaturen ökas eller sänks. Vid små dia-metrar kan även limmets temperaturutvidgnings-koefficient inverka på rörelserna i limfogen.

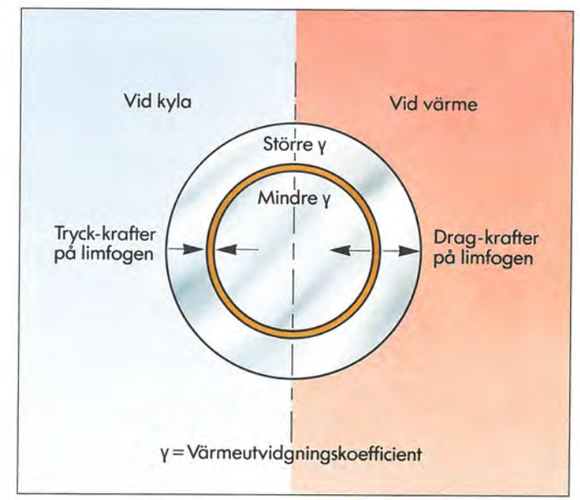
Beroende av vilken av detaljerna som har den största utvidgningskoefficienten uppstår belastning av limfogen enligt bilderna till höger.

Tryckbelastning i kyla ses som ett litet problem. Vid tryckbelastning i högre temperaturer, gäller det att se till att limmet har så hög värmebeständighet att det inte plastiskt deformeras och omfördelas i limfogen, så att det vid återgång inte räcker till att fylla spalten.

Vid dragbelastning i kyla, då limmet dessutom självt vill krympa, bör limmet ha större brottöjning än relativrörelsen i fogen — annars finns risk för att fogen skall brista. Man måste då veta limmets brottöjning vid den aktuella, låga temperaturen.

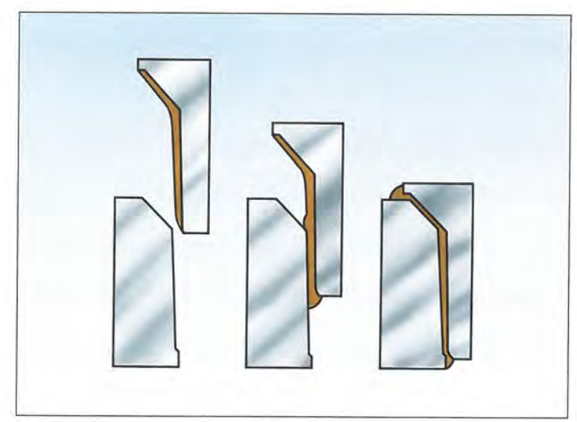
Dragpåkända, cylindriska fogar som utsätts för värme resulterar normalt inte i brott, om inte en stor yttre last anbringas.

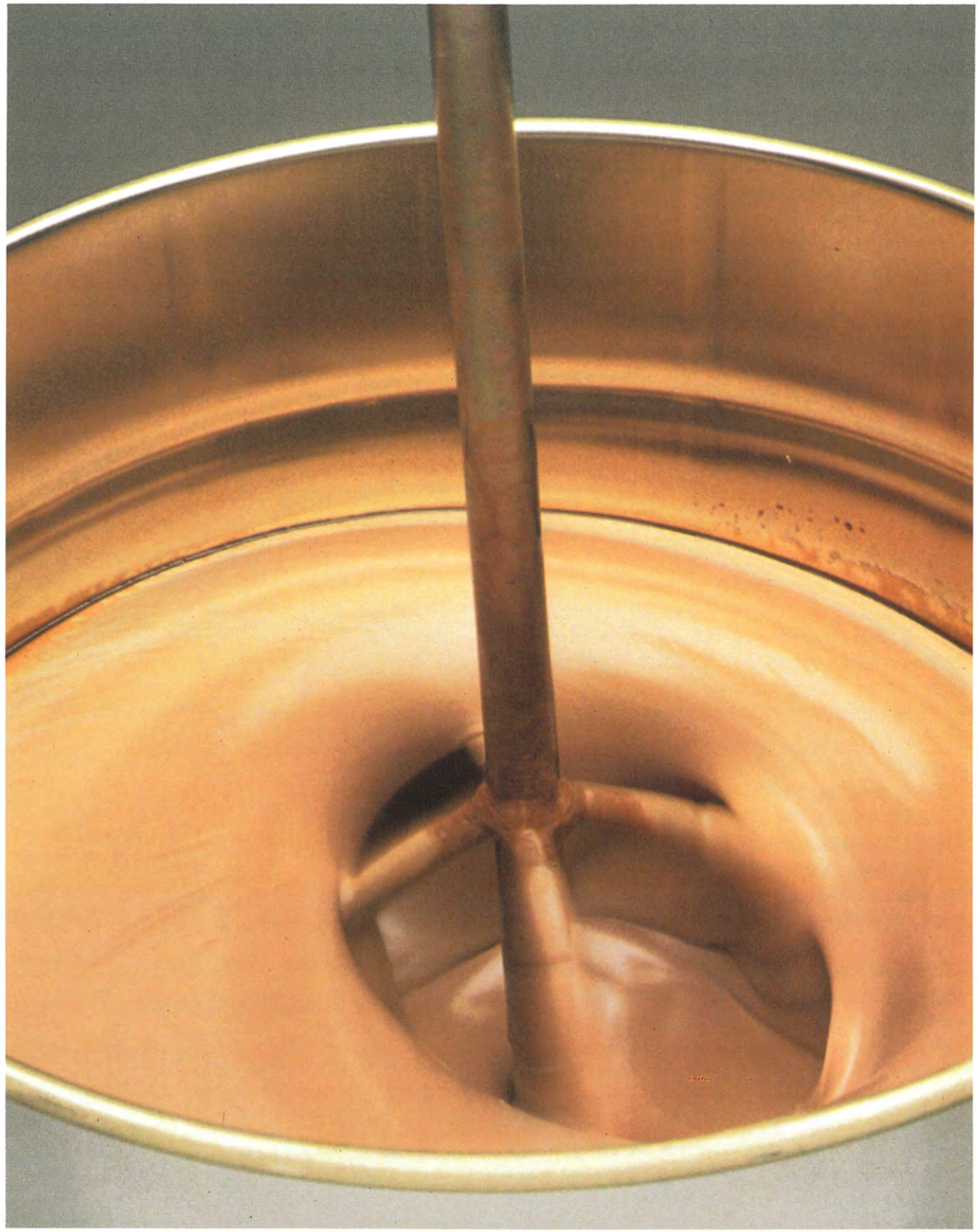




Vid limning av cylindriska förband kan det ibland vara svårt att med säkerhet få helt fyllda limfogar. Genom att göra förbandet något koniskt (1—2°) får man en fog som blir tunnare ju längre delarna förs samman. Bilden nedan visar ett tillämpnings-exempel på detta.

Praktiskt taget alla material limmas i alla kombi-nationer till de mest skiftande konstruktioner. Detta resulterar i limfogar med mycket olika belastningar både i fråga om belastningsnivå, riktning och frek-vens. Vi har i det föregående försökt ge lite gene-rella synpunkter och visat på några exempel. Slut-ligen blir det dock den enskilde kontruktören som får tänka vidare och anpassa lim och fogutformning till sin produkt. Därmed inte sagt att man inte kan hitta diskussionspartners, som har tänkt på snarlika limfogar tidigare.





Limningsarbetet steg för steg.

"Limma kan väl inte innebära så mycket mer än att smeta på lim och klämma ihop..."

Man blir förvånad när man upptäcker hur många olika moment limning faktiskt innebär, och hur många möjligheter det finns att utföra dessa på olika sätt, med varierande hållfasthet som resultat.

Genom att tänka igenom hela limningsarbetet, innan man startar, har man möjlighet att undvika många fallgropar.

Skriver man sedan en detaljerad arbetsbeskrivning, har man goda möjligheter att hålla en hög och jämn kvalitet på sina limfogar.

Följande sidor berör de olika moment som kan inverka på limningsresultatet. Alla de uppräknade momenten är som regel aktuella vid alla limningar — vare sig man tänker på det eller ej. Variationer i utförandet resulterar vanligen i varierande resultat.

Konditionering av komponenterna.

Trä har olika fuktinnehåll beroende av lagringsförhållanden. Det har även papper, plaster och gummimaterial. När det gäller trä och papper kan fuktinnehållet påverka möjligheterna att absorbera limmet och torktiden vid användning av lim som innehåller vatten. Andelen fukt i plast och gummimaterial är vanligen avsevärt lägre än i t ex trä, men kan ändå få stor betydelse. Vid limning med cyanoakrylater kan härdningstiden påverkas mycket av fuktinnehållet i materialet. Vid limning med polyuretanlim kan fukten i materialet både påverka härdning och homogenitet hos limfogen.

Material som lagras kallt kan under vissa förhållanden få ett kondenserat vattenskikt på ytan när det tas in i arbetslokalerna. Material som skall limmas, bör som regel få anta limningslokalens temperatur före limbeläggning — d v s helst förvaras där ett dygn före limning. Förbehandlings- och limningssätt påverkar givetvis behovet av konditionering.

Dimensionskontroll av komponenterna.

Vid limning av cylindriska förband, som rör i rör, pinnar i hål etc, är det lätt att förstå att dimensionerna påverkar bl a fogtjocklek och limapplicering.

Genom att göra en torrlimning, d v s montera detaljerna utan lim, kan man ibland slippa onödigt arbete med limbelagt material. Ju högre presstryck som åtgår för att hålla komponenterna i rätt läge under limmets stelning, desto större spänningar bygger man in i limfogen.

Ytorna som skall limmas.

Limning bygger på attraktionskrafter mellan två material inom ett avstånd av 5 Å — och på hållfastheten hos dessa material.

Det betyder att man måste känna ytorna man limmar emot väl — och inte minst kontrollera och styra deras tillstånd. Det är svårt, för att inte säga omöjligt, att se vad som händer på ångströmsnivå. Oberoende av vilken förbehandling ytorna ges, är det synnerligen viktigt att behandling och hantering sker på samma sätt från gång till gång.

Kombinationen av materialförorening/förbehandlingsmetod/lim kan ha stor betydelse. Har man fastställt en kombination, som ger ett tillfredsställande limningsresultat, skall man inte ändra något i processen. Limmet kan ha tolerans mot en viss förorening, t ex en typ av valsolja, men inte för en annan kvalitet på olja. Rengöringsmedlet kan vara effektivt på *ett* bestämt material, *en* typ av föroreningar och som förbehandling för *ett* lim. Ändrar man något i systemet kan man få ett helt annat resultat. En bestämd alkalisk tvättlösning kan t ex ge ett utmärkt rengöringsresultat på stål, men kan på aluminium framkalla oxider av en typ som är förödande för limningsresultatet. Vid otillräcklig sköljning efter tvättning i vattenlösning kan resultatet bli gott, så länge fogen arbetar i torrt klimat. Utsatt för fukt kan tvättmedelsrester lösas upp.

Kort sagt: *När en förbehandlingsmetod fungerar — sätt den i system, sätt toleranser och ändra inget!*

Primning av fogytorna.

När man skall limma mot putsade murytor, brukar man ibland behöva prima ytan med förtunnat lim. Det gör man för att förstärka ytan som man skall limma emot. Det skälet kan finnas vid limning även mot andra material, men vanligen används primer på ytorna av andra skäl:

— Förbättra kontakten mellan ytan och limmet. Tjockflytande lim kommer inte ner i ytprofilens dalar. Primern är ofta ett lim som är förtunnat med lösningsmedel och/eller ett lim med mindre molekyler.

— Förbättra korrosionsbeständigheten. Den tunnflytande primern minskar utrymmet för vatten i gränsskiktet och den kan även innehålla korrosionshämmande tillsatser.

— Ge starkare bindningar. Ibland kan bindningsstyrkan mellan lim och material ökas genom att materialet bestrykes tunt med en vidhäftningsförmedlande primer. Silaner används t ex som primer för epoxi- och silikonlim vid limning mot mineraler (keramik, porslin, glas etc). Primern kan bl a förbättra livslängden hos fogar som arbetar i fuktig miljö.

— Minska spänningarna i gränsskiktet. Somliga lim ger hårda fogar. Några limtyper krymper dessutom vid stelning. Det resulterar i stora spänningar i gränsskiktet. Ibland blir dessa spänningar så stora att limmet krymper loss från ytan.

Genom att belägga materialet med en primer

En kort minneslista:

Komponenterna som skall limmas

Kondition
- Temperatur
- Fuktinnehåll

Dimension
- Passning
- Fogtjocklek

Ytorna som skall limmas

Ytspänning
- Ytomvandling
- Primning

Renhetsgrad
- Rengöringsmetod

Ytstruktur
- Primning

Mellanlagring av komponenterna
- Nedsmutsningsrisk
- Åldring av ytbehandling

Limmet

Ankomstkontroll
- Rätt lim
- Tillverkningsnummer
- Provlimning

Lagring
- Lagringstemperatur
- Först in — först ut

Före limning
- Sedimentation/omröring
- Blandningsförhållande
- Blandning
- Avluftning

Limningslokalerna
- Separat limrum
- Öppen verkstadslokal
- Temperatur
- Relativ luftfuktighet
- Renhetsnivå
- Risk för drag

Arbetsmiljö
- Varuinformationsblad
- Regler och lagar
- Tillgängliga kunskaper
- Kontakt med skyddsombud
- Ventilation
- Dragskåp
- Hanteringshjälpmedel
- Utbildning
- Arbetsmiljömätningar
- Hälsokontroller

Limpåföring
- Appliceringssätt
- Lim på ena eller båda fogytorna
- Limmängd
- Brukstid för blandat lim
- Öppen väntetid
- Sluten väntetid

Fixering – Pressning
- Presstryck
- Presstemperatur
- Presstid

Urtagning
- Avsvalning efter varmpress
- Avlastning av presstryck
- Urtagning ur fixtur/press

Efter limning
- Mognadstid
- Vidarearbete
- Kall-lager
- Packning
- Leverans

Resultatuppföljning
- Stickprovskontroll
- Referensprover
- Journalföring

som ger en elastisk beläggning på ytan, kan dessa spänningar ibland minskas betydligt. De väderbeständiga fenol-resorcinol-limmen krymper tex loss från aluminiumplåt. Genom att använda en speciell primer på aluminiumplåten, kan de väderbeständiga fenol-resorcinol-limmen fortfarande användas, tex då man limmar in aluminiumplåt som fuktspärr i ytterdörrar.

Normalt, men inte alltid, skall primern torka (eventuellt härda) innan limmet appliceras. Om primer är aktuell bör man ta reda på vilken nytta den förväntas göra och på vilket sätt den gör nytta — och inte minst hur den skall anbringas. Alltför tjocka primerskikt kan ge omvänt resultat.

Mellanlagring av förbehandlade ytor.

Det är mycket lätt att smutsa ner en ren yta igen.

5 Å är aldrig mer än 0,000 0005 mm. Och mer förorening behövs inte för att det ska vara föroreningen man limmar emot. Detta medför att man bör vara uppmärksam på hur detaljerna hanteras och förvaras sedan de behandlats för limning.

Hur mellanlagringen i praktiken kommer att gå till, beror på storleken på detaljerna och krav på den slutliga limfogen.

Principen bör dock vara:

- Ingen okontrollerad förvaring i produktionslokaler eller på öppna lagerhyllor.
- Ingen beröring av fogytorna med bara händer. Rena bomullsvantar rekommenderas.
- Genomföra förbehandling i så nära anslutning som till limningen som möjligt, både i tid och rum.

Ankomstkontroll av lim.

Lim tillverkas enligt recept med små toleranser. Efter tillverkning provas också de väsentliga funktionerna, som tex viskositet och härdningstid. Man har skäl att anta att limmet som lämnar fabriken har en jämn kvalitet.

Vägen och tiden från fabriken till användaren försöker man givetvis också styra. Vägen och tiden kan dock variera beroende på var man befinner sig och hur mycket lim man förbrukar.

Vill man systematisera sin limhantering, kan man införa följande ankomstkontroll, helt eller delvis:

- Kontroll av resterande lagringstid. Tillverkningsdatum skall vara angivet antingen i klartext eller enligt en kod.
- Mätning av viskositeten. Intervallet för viskositeten vid tillverkningstillfället bör kunna erhållas från limleverantören.
- Kontroll av härdnings- eller gelningstiden. Man kan mäta viskositetsökningen i förhållande till tiden. Det är också ibland möjligt att endast mäta temperaturstegringen hos en bestämd kvantitet lim under en viss tid. Detta ger en uppfattning om reaktiviteten.
- Utföra provlimningar (enligt en metod som man själv fastställer beroende av material och krav). Det är då av stor vikt att förhållandena är lika vid varje provningstillfälle. Tiden mellan limning och provning får inte variera (om man inte använder värmehärdande lim). Sluthärdningen vid härdning i rumstemperatur tar ofta dagar eller veckor i anspråk. Även den slutliga torkningen för torkande lim tar lång tid.

Lagring av lim.

Alla kemiska reaktioner går fortare vid ökad temperatur. Omvänt sänker man alltså reaktionshastigheten med sänkt temperatur. Eftersom man under lagring av limmet inte vill ha någon kemisk reaktion, bör man lagra lim och härdare vid låg temperatur. På detta sätt förlänger man alltså lagringstiden. (Limleverantören kan ha angivit en högsta temperatur i kombination med en viss lagringstid.)

I princip ökar lagringstiden ju lägre temperatur limmet förvaras i. För en del limtyper finns dock en undre temperaturgräns vid vilken lagring kan ske. Vattenhaltiga lim får normalt inte förvaras vid temperaturer under 0°C tex. Även andra lim kan ha en undre lagrings- eller transporttemperatur angiven.

Man bör även uppmärksamma att lim och härdare vid användning normalt bör ha återtagit rumstemperatur — se Konditionering av komponenterna på sidan 76.

Förpackningarna skall vid lagring vara helt slutna.

Alla lim tål inte att förvaras på samma plats. Finns ångor (även i ringa grad) i förvaringsutrymmet, kan de från ett lim påverka ett annat. Aminer från tex en epoxihärdare kan utgöra accelerator

för ett polyuretanlim. Likaså kan flera material hindra silikonlim från att härda. Silikonlim bör om möjligt lagras i särskilt utrymme.

De skåp som lim och härdare förvaras i, kan av arbetsmiljöskäl med fördel anslutas till ett utsug. På detta sätt hindras ångor från öppnade förpackningar att sippra ut i arbetslokalerna.

Genomgående skall lim och härdare förvaras torrt. Fukt kan tas upp av alla plastmaterial. Reaktioner kan också ske med fukten. Fukt i lim, härdare och limblandningar kan påverka limningsresultatet i hög grad.

Genom förvaring i lägre temperatur sänker man också fuktinnehållet i luften. Man skall dock vara uppmärksam på, att man vid exponering av kallt lim (som förvarats kallt) i luft med normal temperatur, kan få fuktutfällning på limmet (kondens).

Omrörning av limmet före användning.

Ibland kan det vara nödvändigt att röra om limmet innan det tas i bruk. Det beror då på att de komponenter som limmet består av har olika volymvikt. De tyngre av dessa, tex fyllnadsmaterial, kan då under längre lagring sjunka till botten. Genom att använda ett sådant lim — utan omrörning — får man ett helt annat och förskjutet limningsresultat. Blandningsförhållandet blir tex inte detsamma om det är ett härdlim.

Sedimentationstendensen är olika hos olika lim och limtyper. Ibland finns den inte alls. Man bör dock vara uppmärksam på fenomenet.

Vad får det att härda?

I dagligt tal talar man vanligen endast om lim och härdare. Limmet är då baskomponenten (och ger limmet dess namn). Härdaren är det som får limmet att stelna.

Härdaren till ett lim kan fungera efter olika principer:

- Härdaren kan initiera ett härdningsförlopp (sätta igång härdningen). Ju större härdartillsats desto snabbare härdning.
- Härdaren kan ingå som en av byggstenarna i den slutliga polymeren (plasten). Både lim och härdare inverkar här på den slutliga limfogens egenskaper. Härdningstiden påverkas *inte* av mängden härdare i detta fall.
- Härdaren kan ibland finnas i den omgivande miljön, tex som fukt (vissa silikoner och polyuretaner samt cyanoakrylater). De anaeroba limmen härdar i en tunn fog och i kontakt med metalljoner.
- Härdaren kan också ingå i ett 1-komponentlim som en andra komponent. Härdaren kan då vara så långsam att någon härdning praktiskt taget inte sker i rumstemperatur (men man bör vara aktsam på lagringstiden). Vid uppvärmning sker härdning relativt fort (temperaturer på 100°C eller högre).
- Härdaren kan också vara blockerad, dvs den finns i limmet men är bunden till något annat ämne, så att den inte kan reagera med limmet. Härdaren spjälkas loss när härdning skall ske. Så används tex ultraviolett ljus till de UV-härdande limmen.

Det finns också andra tillsatser som kan vara medverkande vid limmets härdningsprocess:

Acceleratorer kan tillsättas limmet för att härdningen skall ske snabbare.

Ibland kan inte lim och härdare reagera om inte en katalysator medverkar. (En katalysator är ett ämne som medverkar i en reaktion utan att själv förbrukas.) En typisk katalysator är den koboltförening som krävs för att härda omättad polyester (båtplast) med en peroxidhärdare.

Aktivator brukar de ämnen kallas, som appliceras på en yta som betraktas som inaktiv, vid limning med anaeroba lim (låsvätskor).

Ju mer man vet om det aktuella limmets funktionssätt, desto mindre risk är det att man hamnar i några dolda fallgropar.

Genomgående gäller att de blandningsförhållanden som uppges av limleverantören skall följas noga. Det är sällan så enkelt att mera härdare ger snabbare härdning. Avvikelser från blandningsförhållandet ger som regel en annan slutprodukt i den fasta limfogen.

Anges inga toleranser i blandningsförhållandet bör man ta reda på dessa. Man bör också skaffa sig kännedom om vad som påverkas vid överdosering respektive underdosering av härdare.

Den vanliga, långsamhärdande epoxitypen, som har polyamidhärdare, använder polyamidöverskottet som mjukgörare. Doseras lim:härdare ca 100:80 går det jämt ut, dvs det blir ingen härdare

över till fri mjukgörare i limmet. Tar man mer härdare kommer härdaröverskottet att vara flytande mellan de härdade molekylkedjorna. Så blir fallet redan vid blandningsförhållandet 100:100. Detta gäller just detta epoxilim. För andra epoxilim kan andra egenskaper påverkas.

Ett 2-komponent polyuretanlim med isocyanathärdare har som regel ett litet isocyanatöverskott. Den tjänstgör som mjukgörare tills limmet i tillräckligt lång tid kommit i kontakt med fukt. Sedan reagerar överskottshärdaren med fukten och limmet blir hårdare.

Anaeroba lim kräver, för att härda normalt, både en tunn spalt och metalljoner. Den tunna spalten ger ett anaerobt (syrefritt) tillstånd. På somliga metaller finns otillräckligt med metalljoner och plastytor innehåller inga metalljoner alls. Då kan man använda en koppartvål i ett lösningsmedel som aktivator.

Alla limtyper har sin finstilta förklaring till hur de fungerar (cyanoakrylater härdar t ex inte av fukt). Ta reda på mer, så blir resultatet bättre.

Blandning av lim och härdare.

Spontanblandning mellan lim och härdare förekommer sällan. Det finns två limtyper där lim kan spridas på ena fogytan och härdare på den andra: Vissa karbamidlim för trälimningar och de s k SGA-limmen.

Alla 2-komponents härdlim måste doseras och blandas noga.

Vid blandning med pinnar eller med roterande omrörare, blandas stora mängder luft in i limmet. Luften i limmet ger en heterogen limfog. Luften som blandas in, innehåller fukt i varierande mängd, och fukten kan inverka på limfogens slutegenskaper. Polyamid, som är härdaren i en del epoxilim, tar t ex upp fukt lätt. Polyuretanlimmens härdare, isocyanaten, reagerar med fukt och bildar kolsyra. Innehåller inte limdelen komponenter som kan ta hand om fukten, innan den reagerar med isocyanater, kan limmet börja jäsa av kolsyreutvecklingen.

Genom att använda en utrustning, där komponenterna matas direkt från förpackningen och blandas utan luftnärvaro, undvikes luft i limblandningen. Dessa utrustningar är ofta försedda med en s k statisk mixer. Det är ett rör med ett antal fasta vingar som tvingar komponenterna att blandas till en homogen blandning. Dessa utrustningar är som regel tämligen stora och kräver, för att vara användbara, en förhållandevis stor och regelbunden limförbrukning. En mindre utrustning som bygger på samma princip finns dock numera utvecklad. Den kan vara användbar vid en förhållandevis måttlig limförbrukning.

Några lim finns nu tillgängliga i s k tvillingtuber eller koaxialtuber som kan placeras i en enkel hand- eller luftpistol och förses med statisk mixer-blandare. På marknaden finns också tomtuber med olika blandningsförhållanden, som man själv kan fylla med de lim man önskar. (Se mer under rubriken *"Utrustning för dosering, blandning och applicering"*).

Limningslokalerna och de som limmar.

Det finns anledning att ägna utrymmen där limning sker en viss uppmärksamhet. Är lokalerna lämpliga för de limningar som skall utföras?

Klarar man av att styra:

- Temperaturen
- Relativa luftfuktigheten
- Materialflödet
- Arbetshygienen
- Ventilationen
- Renhetskravet

Ofta vill man sprida ut limningsoperationerna till flera avdelningar och monteringsplatser och på flera operatörer. Det kan finnas många skäl till detta.

Med tanke på limningsresultatet är det dock bättre om all limning kan ske i en limningslokal med så få operatörer som möjligt.

I limningslokalen är det lättare att styra miljön runt limningen.

Alla passar inte till limarbete.

Det krävs en viss förmåga till småskaligt tänkande på ångströmsnivå — och en god arbetsdisciplin — för att utföra kvalificerade limningar. Genom att sprida limningen på många händer ökar man riskerna.

Ju mindre specificerad och toleranssatt arbetsbeskrivning man utför, desto större blir behovet av kompetenta och utbildade operatörer.

Arbetsmiljö.

Kontinuerligt arbete med lim kan inte, generellt sett, betraktas som helt riskfritt. (Läs mer om de olika limtyperna under *"Är lim farliga?"*).

Det finns regler och lagar som man är skyldig att följa. Det måste t ex för varje kemisk produkt som kan innebära en hälsorisk, följa en produktinformation på svenska, som upplyser om riskerna.

Vägledande bör vara en öppenhet i arbetet. Genom att låta dem, som senare förmodas arbeta med limmet, vara med vid arbetsplatsens planering, kan mycket vinnas. Skyddsombudet har som regel färre och mer realistiska invändningar, om han eller hon har haft tillfälle att inhämta kunskaper om risknivå vid projektets början, istället för att ställas inför fullbordat faktum, när projekteringen är klar.

All produktionspersonal är inte lämplig för limningsarbete.

De arbetsmiljöhänsyn som införs måste ju tillämpas för att få någon effekt.

Inställningen att "limning är ett så otrevligt jobb, att det ska vi sprida ut på så många som möjligt, så de slipper hålla på med det så länge," måste betraktas som fel, både beträffande arbetsmiljö och limningskvalitet.

Kunskap, utrustning och få, men kvalificerade och utbildade, limmare ökar arbetshygienen.

Limningen.

Limmet skall ju, för att ha några möjligheter att förena sig med underlaget, komma inom ett avstånd av maximalt 5 Å från ytan. För att detta skall vara möjligt, krävs att limmet har lägre ytspänning än den yta som vi vill väta med limmet.

Det räcker dock inte med att ytspänningsförhållandet är det rätta. Limmet måste också få tid att byta plats med luften som finns i ytan på materialet.

Några släta, fina ytor finns inte med dessa mått mätt. Detta betyder att limmet möter en yta som är mycket ojämn och full med håligheter, sett i ett mikroperspektiv. Beroende av limmets viskositet kommer det att ta olika lång tid för limmet att rinna ner i alla håligheter.

Om limmet appliceras som en sammanhängande, flytande film över den ojämna ytan, måste ju luften kunna stiga upp genom limmet innan det lämnar plats för limmet.

Enkelspridning.

Lägger man lim på ena ytan — och ger det tid att byta plats med luften i ytan — vad händer då när man lägger den andra detaljen mot limmet? Har man inte limbelagt också denna, kan man anta att denna yta blir ofullständigare vätt — d v s sämre limmad!

Ju högviskösare lim man arbetar med, desto mer tid åtgår för vätningen. Det för återigen in tankarna på det eventuella behovet av att använda en lågviskös primer.

Dubbelspridning.

Den mest fullständiga fogfyllningen uppnås genom att limbelägga (eller prima) båda fogytorna och låta en så lång tid som limmet tillåter gå före sammanläggning.

Väntetid.

Vad som sagts ovan talar för att det är önskvärt med en viss öppen väntetid. Denna väntetid får givetvis inte bli så lång att limmet börjar hårdna.

Med sluten väntetid menar man tiden som detaljerna ligger monterade, innan de slutligen fixerats eller kommit under press. Denna tid är för lösningsmedelsfria lim normalt inte längre än den öppna väntetiden. För vatten- eller lösningsmedelshaltiga lim kan den slutna väntetiden vara något längre än den öppna, detta p g a att vattnet/lösningsmedlet dunstar långsammare i den slutna fogen.

Generellt gäller att limytorna — eller lim/materialytorna skall komma i god kontakt medan limmet fortfarande är flytande.

Brukstid hos limblandningen.

Vid användning av 2-komponentlim som kan härda i rumstemperatur, gäller naturligtvis en begränsad brukstid. Hur länge limblandningen kan användas beror på temperaturen på limmet. Många 2-komponentlim har en exoterm reaktion, d v s det alstras värme under härdningen.

Som regel är det så att limmet först har en viss blandningsviskositet. När sedan härdningen startar alstras värme och limmet blir något lågviskösare (tunnare). I samma stund börjar härdningen och limmet blir tjockare och tjockare.

Mäter man viskositeten parallellt med temperaturen hos limblandningen, märker man att de följs

åt efter samma kurva. I början händer inte så mycket, men så stiger temperaturen raskt och då går också härdningen fortare, med ökad viskositet som följd.

Kan man hålla nere temperaturen hos limblandningen, kan man avsevärt förlänga brukstiden. Större limblandningsvolymer får kortare brukstid, eftersom de har en relativt sett mindre kylyta till sin volym.

När limmet kommit på plats, på en yta som leder bort värmen, ökar inte viskositeten i samma takt. Det är detta som gör att härdningstiden i limfogen är så mycket längre än den är i limblandningen.

Lim som i limblandningen fått för hög viskositet, blir inte tunnare när den kommer ut på ytan. Det är därför felaktigt att använda lim som blivit för tjockt.

Sammanläggning av de limbelagda ytorna.

Många limningar utförs utan speciellt mycket tankearbete, vare sig före eller under limningen. Oftast blir man ändå nöjd med limningsresultatet. Det händer dock att man vill uppnå bättre resultat.

Limytorna kan ju innehålla luft i mikrokvantiteter pga ofullständig vätning (luft/limbyte). Man kan också få större luftinneslutningar i limfogen. Detta beror ofta på att limspridningen är ojämn, så att en ring av lim stänger inne luft då detaljerna läggs samman. Risken för luftinneslutning ökar med ökad limyta och ökad viskositet på limmet.

Vid limning av lufttäta material finns ingen generell lösning på detta problem. Genom att sprida limmet så jämnt som möjligt och genom att inte närma ytorna till varandra parallella, kan en förbättring möjligen ske. Ett annat sätt är att väta båda fogytorna tunt med lim. En något större kvantitet lim placeras sedan centralt på ena fogytan. Genom att sakta föra samman ytorna i rätt läge, har man möjlighet att pressa ut luften framför limmet, vartefter limfogen blir tunnare och limmet sprids.

Vid extrema krav på luftfri fog, kan möjligen montering i vakuum arrangeras.

Ytterligare ett sätt till luftfri limfog är att låta limmet sugas in kapillärt efter montering av detaljerna. För tjockare limtyper kan limmet alternativt injiceras i fogen efter montering. Detta kräver speciell fogutformning för att limmet skall gå rätt väg.

Behövs presstryck?

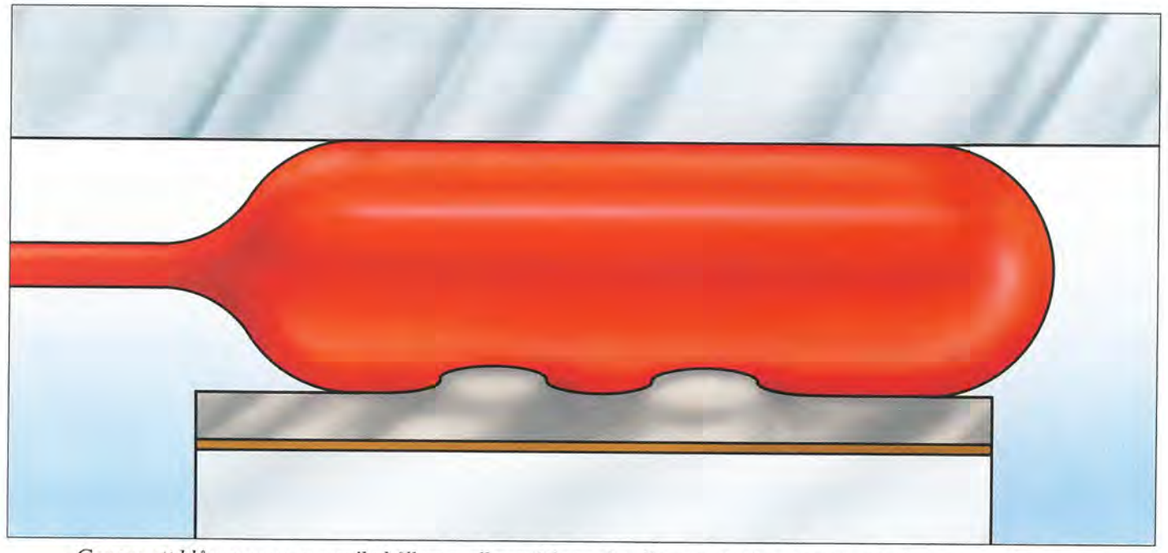
Många av de limtyper som idag används, har liten stelningskrympning och kräver inget egentligt presstryck. Spänningar i konstruktionen kan dock kräva att ytorna pressas mot varandra. I sådant fall är det konstruktionens spänningar som avgör hur stor kraft som behöver anbringas. Dessa spänningar kommer att utöva en inbyggd påkänning på limfogen och bör hållas så låga som möjligt.

Om inget annat anges för limtypen ifråga, gäller fortfarande målsättningen att man skall ha lim och inte luft i limfogen. Presstrycket behöver i så fall inte vara högre än att foganliggning erhålles.

Det är av vikt att presstrycket inte avlastas för tidigt, dvs att limmet måste ha fått sådan styrka att det orkar hålla emot spänningarna i materialet.

Man bör också se till att presstrycket hålles konstant under härdningen. Rörelser i limfogen under härdningsskedet, kan ge upphov till brottanvisningar i limfogen.

Vidare bör man tänka på att presstrycket bör vara av fjädrande karaktär om härdning sker i värme. Materialet rör sig ju i värme.



Genom att blåsa upp en gummibehållare mellan två fasta plan får man ett jämnt presstryck även på en ojämn yta.

Kontaktlim kräver högt presstryck. Vid pressning av kontaktlim gäller regeln att fogens hållfasthet ökar med presstrycket. Kontaktlimfogar pressas med fördel samman med valsar eller rullar i stället för med planpress.

De torkande limmen kräver också normalt presstryck. Presstrycket, som skall vara jämnt fördelat, skall dels övervinna spänningar i materialen, dels kompensera limmets krympning under torkningen.

Möjligheterna till pressning är många. De man först kommer att tänka på, brukar vara planpressen och skruvtvingar.

Planpressens begränsning är att den kräver planparallella produkter. Skruvtvingarna ger liten fjädrande inspänning.

Luft är formbar och fjädrande. Genom att utnyttja luft i form av över- eller undertryck, kan pressmöjligheterna ökas. Genom att blåsa upp en ballong mellan två fasta plan erhålles jämnt och följsamt presstryck.

Ballongen kan tillverkas i armerat gummi — eller om varmpress önskas — i tunnplåt.

Brandslangar används till att jämna ut presstrycket i fixturer.

Vakuumbord är ett vanligt och billigt sätt att erhålla presstryck på stora ytor. Här låter man atmosfären stå för presstrycket och sänker trycket inne i limfogen i stället.

Stora sandwichpaneler pressas ofta i vakuumbord.

Pressning med hjälp av vakuum kräver speciella kunskaper. Innestängd luft vill komma ut. Det resulterar i en skumning i limfogen. Det finns också risk för större luftinneslutningar — speciellt om täta material limmas. Kärnmaterial med slutna celler brukar förses med spår som kan evakuera luften mellan kärna och täckskikt.

Cykelslangar, tryckluftcylindrar, bälgcylindrar, krympslang, gummisnoddar och pennor — allt har kommit till användning som presstryck.

Vakuumbord är ett billigt sätt att få presstryck på stora ytor.

Rumstemperatur eller värmehärdning.

Värmehärdning kräver utrustning — rumstemperaturhärdning kräver tid och utrymme.

Här står man ofta inför en ganska komplicerad valsituation. Till stora delar är limning en fråga om materialhantering. Beroende på hur stora och hur många komponenter som skall hanteras, kan denna fråga bli av vital betydelse.

Är komponenterna stora och många, kan valet mellan olika sätt att producera limfogen få betydelse ur produktflödes- och kostnadssynpunkt.

Kvalitetskraven på produkten kan ibland vara sådana att man kan tänka sig — fortfarande med bibehållen produktkvalitet — att tillämpa helt skilda produktionssystem.

Valet kan t ex stå mellan att använda ett lim som härdar långsamt i rumstemperatur eller att använda ett annat lim som härdar på kort tid vid högre temperatur. Kombinationsförband och kombinationslim är andra alternativ.

Vilken betydelse får detta för investering, lokalbehov, personalkostander, energibehov och limkostnader?

Detta kan givetvis inte besvaras generellt.

Innan man börjar fundera alltför detaljerat, kan man ha glädje av att bilda sig en uppfattning om arbetsvolymen som skall utföras.

Genom att dividera den tänkta års- eller dagsproduktionen med tillgänglig arbetstid, ser man lätt hur lång tid man har på sig att utföra arbetet per produkt. Tänker man *en i timmen* eller *tre minuter per enhet,* är det lättare att få ett grepp om vilka lim som kan bli aktuella, om produktionen måste utföras på flera parallella linjer osv.

Gör man sedan en enkel kostnadskalkyl ser man vilka moment och kostnader som blir styrande.

Se också *"Vad kostar det att limma?"*

Några praktiska synpunkter.

Torkande lim behöver vanligtvis lång tid på sig för att torka fullständigt. Skall lösningsmedlet (eller vatten) gå igenom materialen som limmas, kan det ta veckor innan den slutliga torkningen skett.

Här kan varmpressning påskynda torkningen om materialen har förmåga att ta upp vattnet eller lösningsmedlet. Man bör dock vara uppmärksam på limfogens temperatur, så att lösningsmedel eller vatten inte börjar koka i fogen. Varmpressning av lösningsmedelshaltiga lim innebär ökad miljörisk och bör tillämpas med största försiktighet.

Även kontaktlim, där ju den huvudsakliga torkningen sker innan man lägger samman ytorna, kräver lång tid för fullständig torkning. Kontaktlimmet får ju inte vara helt torrt för att fungera. Alltså finns restlösningsmedel (eller restvatten) kvar i fogen. För att detta skall hinna avgå kan det krävas veckor.

Här finns det kanske skäl att överväga användning av ett värmeaktiverat lim istället. Det ger möjlighet till snabbare produktion och fullständig torkning på kort tid.

Härdlim som tillåts härda i rumstemperatur ger sällan samma resultat som när de värmehärdas.

Epoxilim härdar inte ut fullständigt vid rumstemperatur. De kommer pga sin relativt höga viskositet inte att kunna rinna ner i ytprofilen lika bra som när de värmehärdas. Polyuretanlimmen kan ibland få en ökad skumbildning om de värmehärdas.

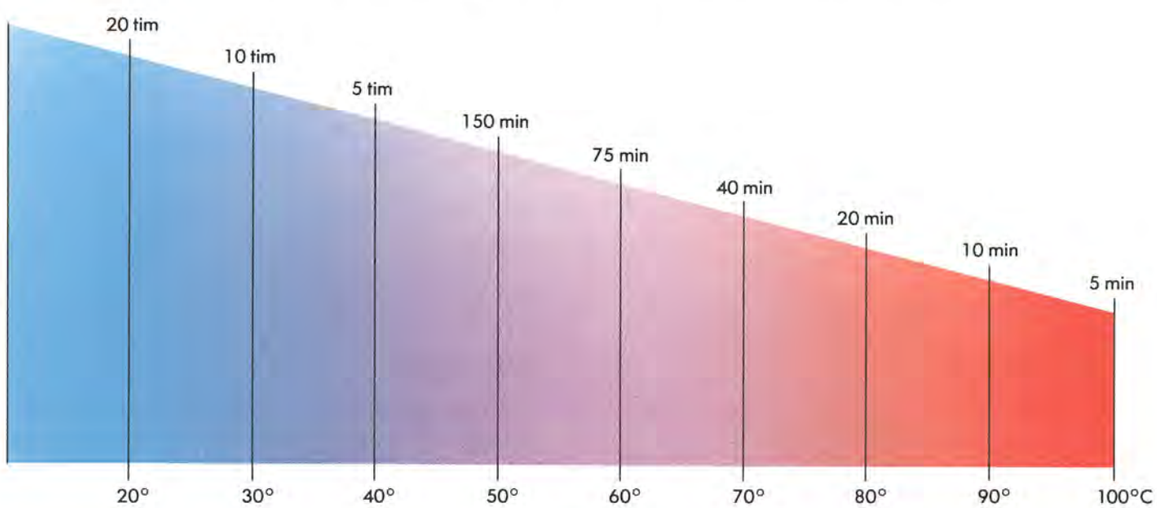
Vid användning av värmehärdning på material med olika längdutvidgning, får man en inbyggd spänning i fogen. Hur stor denna blir beror givetvis på skillnaden i längdutvidgningskoefficient och härdningstemperatur samt limtyp. Man bör möjligen överväga, om den fullständigare härdningen i detta fall, kan medföra större spänningskoncentrationer i limfogen, än om härdningen skett i rumstemperatur.

Som tumregel kan man ha principen att 10 graders temperaturhöjning halverar härdningstiden. Figuren nedan kan stämma ganska bra för många härdlim. Tiderna gäller dock för limfogens temperatur och kan påverkas mycket av materialtjocklek och värmeledningsförmåga.

Lagring – Leverans.

De limningar som torkat eller härdat i rumstemperatur, har som regel endast fått en del av sin slutliga hållfasthet, då de kan tas ur fixturerna och hanteras vidare. Därför är det inte riskfritt att packa och leverera dessa eller att placera dem i kallager vintertid. Man bör under alla förhållanden undersöka hur limmet eventuellt kan påverkas, innan man sätter sina planer i verket.

Härdningstid/Temperatur.



Är lim farliga?

"Lim är inte ofarliga!"
Generellt sett ska man vara försiktig med alla kemiska ämnen, även om vi naturligtvis inte kan undvika alla.

Hela vårt liv omges av olika kemiska ämnen, och vi får dem i oss med maten, luften, vattnet osv. Men det finns ingen anledning att utsätta sig för mer än man måste.

Detta gäller naturligtvis även för limningsarbete. Därför finns det avancerade appliceringshjälpmedel utvecklade, och ventilationstekniken är också långt kommen.

Kan man då inte hitta ett garanterat ofarligt lim?

Garantier blir nog svårt att få, men visst finns det lim som anses ofarliga.

Man ersätter allt mer lösningsmedel med vatten. Limning av golv- och väggmaterial sker uteslutande med vattenbaserade lim. För några tiotal år sedan användes stora mängder lösningsmedelslim för detta ändamål. (Övergången mötte ett visst motstånd. Man blir ofta tvungen att ändra sin arbetsmetod något vid övergång från lösningsmedel till vatten.)

Man skall dock inte känna sig tvärsäker för att man inte har lösningsmedlet kvar. Limmet består ju av något annat också!

Man bör inrätta arbetsrutiner och använda hanteringshjälpmedel, så att man inte behöver få lim på huden.

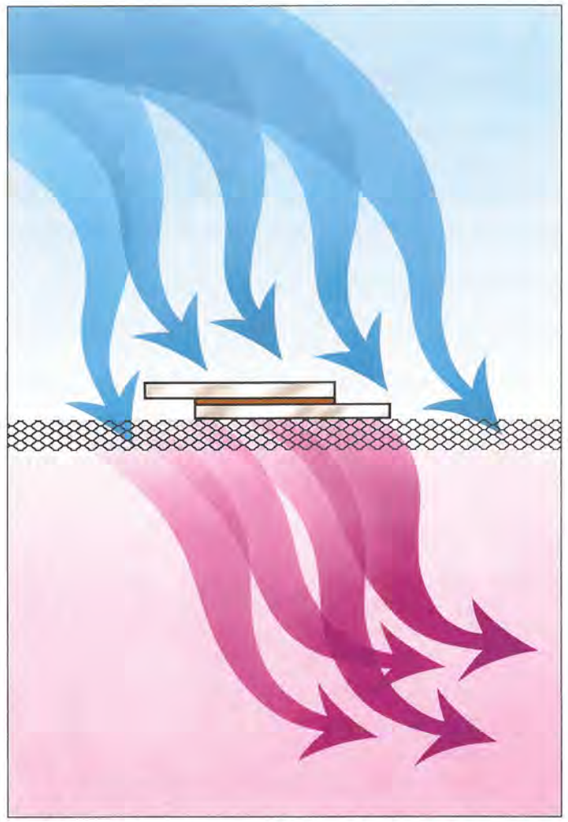
Gummihandskar på händerna är ingen bra lösning på arbetsmiljöproblemet. Det är inte säkert att handskarna är diffusionstäta mot det som man vill skydda sig mot, i alla fall inte under lång tid. Skyddshandskar kan vara acceptabla för kortare arbetsoperationer, tex vid rengöring av appliceringsutrustning, men knappast som skydd under hela arbetspass. Från Arbetarskyddsfonden kan man beställa en skrift, *"Vilken handske för vilken kemikalie?"* som ger en antydan om vilket material handsken bör ha och hur länge den kan anses "säker."

Användning av lösningsmedel för att tvätta bort eventuellt limspill på huden är helt förkastligt.

Vad man då åstadkommer har motsatt effekt än den man vill uppnå.

- Det går aldrig att helt tvätta bort lim eller andra kemikalier med lösningsmedel.
- Lösningsmedlet tvättar däremot bort hudens naturliga skydd, gör huden torr och sprucken och lättare tillgänglig för angrepp.
- Den kemikalie som eventuellt är skadlig tunnas ut av lösningsmedlet och tar sig lättare in i huden.

Det starkaste man får ta till för att tvätta huden är tvål och vatten.



Med rätt placering av ventilation och utsug kan man ta hand om ångorna utan att de sprids i lokalen.

Skyddskrämer, sk kemiska handskar, är ett tveksamt och diskutabelt sätt att skydda huden. Vanlig hudkräm håller dock huden mjuk och smidig, och därigenom mera motståndskraftig.

Principen för ventilation skall vara att ta hand om ångorna så nära källan som möjligt.

Det räcker inte med utsug. Ren luft måste också kunna komma in i lokalen. Genom lite funderingar eller kontakt med ventilationskunniga, kan man ofta begränsa flödet och ändå få luften att gå åt rätt håll. Det kan tex vara effektivt att begränsa det område där limmet exponeras med inbyggnad och undertryck.

Ångor från lim och lösningsmedel är vanligen tyngre än luft, vilket innebär att de sjunker nedåt, om de inte störs av luftrörelser.

Arbetshygieniska gränsvärden är fastställda för lösningsmedel och många andra ämnen som kan förekomma i gasform.

För alla former av isocyanater är tex gränsvärde och takvärde 0,005 ppm. Detta motsvarar en koncentration i luften som kan jämföras med en sträcka på 5 millimeter på 100 mil. (Många mätningar har utförts i samband med limningar. Oftast finner man endast spår av isocyanat vid analys av prover. Sällan kommer man upp till halva gränsvärdet.)

För epoxiprodukter finns inget gränsvärde, vilket man kanske kan vara förvånad över, med tanke på att 90 % av allergier som är att hänföra till plaster, lär komma från arbete med epoxi.

Arbetshygieniska gränsvärdesmätningar kan utföras av bl a Yrkesinspektionen, Företagshälsovården och vissa limleverantörer. Analys sker av Arbetarskyddsstyrelsen.

Hanteringen av hälsofarliga varor regleras av lagstiftning.

Varuinformationsblad skall medfölja produkter och riskupplysningar skall finnas på emballaget. Båda skall vara utförda enligt gällande regler och vara på svenska.

Arbetsmiljölagen reglerar hur limval och arbete skall gå till — och var ansvaret ligger. Det finns också mycket undersökt och skrivet om olika produkters risker. Arbetarskyddsstyrelsens publikationsservice, Arbetarskyddsfonden och Arbetarskyddsnämnden distribuerar dessa skrifter.

Nedan följer en uppställning över publikationer som kan vara aktuella:

Från Arbetarskyddsstyrelsen

- Limningsanvisningar nr 78, 1972
- Arbete med epoxiprodukter, Anvisningar nr 127, 1978
- Arbete med isocyanater, AFS 1981:6
- Organiska lösningsmedel, Anvisningar 124, 1978
- Hygieniska gränsvärden, AFS 1984:5
- Jobba rätt med epoxi. ADI 150, 1978
- Lim kan vara farligt. ADI 215
- Kemiska risker. En uppslagsbok om kemiska ämnen och deras egenskaper, verkningar och användningsområden.
- Farliga ämnen. Overhead-bilder och handledning. SDS 11

Om isocyanater i serien Arbete och hälsa från Arbetarskyddsinstitutet:

— Diisocyanater. En litteraturstudie över medicinska och toxikologiska erfarenheter. 1977:11

— Diisocyanater och polyuretaner i arbetsmiljön. Bildning — Förekomst — Analys. 1983:14

— 58. Diisocyanater. Nordiska expertgruppen för gränsvärdesdokumentation. 1985:19

Från Arbetarskyddsnämnden

- Arbetsmiljölagen, ISBN 91-7522-006-7
- Hälso- och miljöfarliga varor. Lag och kungörelse. ISBN 91-7522-014-8
- Yrkesallergier. ISBN 91-7522-085-7

Kan man prova den färdiga limfogen?

"Visst kan man prova limfogar, men man vill ju helst att de skall gå att använda efter provningen också…." Då blir det avsevärt svårare!

Det är bättre att sätta in kontrollåtgärderna på produktionen än att prova produkten! Även om det fanns en enkel, billig och säker metod för oförstörande provning av limfogar, skulle det ju vara galet om viss andel av produktionen måste gå i kassation.

Oberoende av detta, finns det några provmetoder för oförstörande provning?

Behovet att kunna prova limfogar, utan att förstöra dem, har alltid funnits. Framförallt har limning av belastade fogar, tex inom flygindustrin, drivit på denna utveckling.

Fortfarande finns det emellertid ingen metod att mäta hållfastheten hos en limfog. Det man kan konstatera är att det finns lim i fogen, att limmet har kontakt med de limmade materialen och limfogens tjocklek.

Många metoder bygger på att någon sorts svängningar alstras och mäts i materialet.

Försök har också gjorts att använda sig av materialens värmeledningsförmåga och IR-kamera.

De flesta metoder kräver relativt stora investeringar i utrustning och är förhållandevis tidsödande.

Några av metoderna presenteras mycket kortfattat nedan.

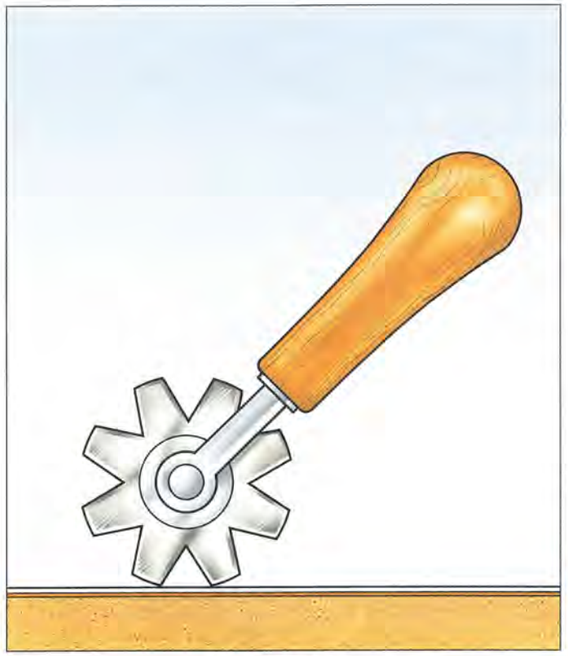
Knackningsmetoden är den i särklass minst kostnadskrävande. Det räcker med ett metallföremål som används till att knacka över fogytan. Limfel som inte är alltför små ger upphov till ett annat ljud då de träffas av föremålet. Det krävs också relativt god hörsel och en viss erfarenhet. Metoden är användbar för större ytor, tex sandwich-paneler.

Sporre-metoden är en utveckling av ovanstående metod. Man rullar över ytan med sporrliknande hjul fäst i ett handtag. Större ytor kan snabbare undersökas på detta sätt.

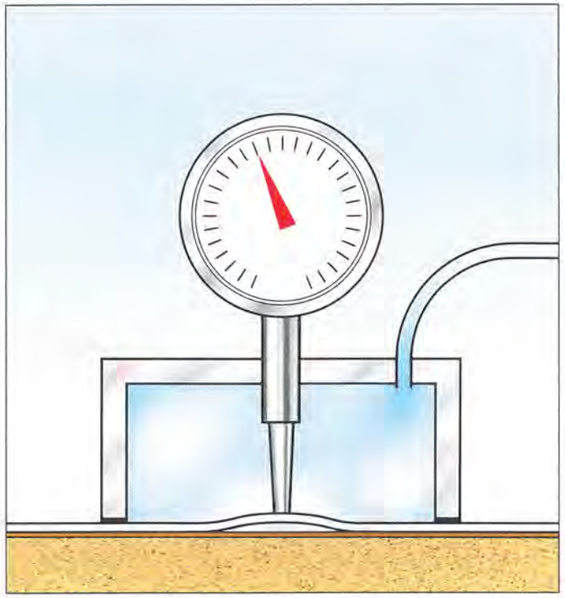
Sporre med förstärkare. Man har här kopplat en frekvensanalysutrustning till sporren. Ljudet förstärks och passerar ett bandfilter som endast släpper fram ljud som uppstår från limfel. Denna typ av utrustning kan kopplas till larmsignal eller varningslampa. Även denna metod lämpar sig bäst för tunna material på relativt stora ytor — och inte alltför små limfel — som tex sandwich-paneler.

Vakuumklockemetoden är en relativt enkel utrustning, men den är tidskrävande.

Den bygger på en mätklocka som sitter inne i en burk där vakuum skapas. Placeras klockan över ett limfel, sugs materialet upp och mätklockan ger utslag. Det minsta fel som kan upptäckas beror på materialtjocklek och hur pass väl mätklockan hittar felet. Även denna metod lämpar sig bäst för plana, relativt stora ytor.



Limbomsporre.



Vakuumklocka.

Ultraljud används bl a av flygindustrin till att kontrollera limfogar. Förenklat kan metoden beskrivas som ljudvågor som sänds genom materialet. Vågorna stoppas av håligheter och sprickor. Det behövs en sändare och en mottagare. Dessa kan vara placerade på varsin sida om materialet eller på samma sida. Man kan placera sändaren i kontakt med materialet eller låta ljudvågen bäras av en vattenstråle. Vid provning av t ex en flygplansvinge låter man en ramp av ultraljudssändare gå över vingytan. Parallellt med vingen står ett stort skrivarbord, där ett diagram över hela limytan tecknas. Eventuella limfel framstår tydligt på diagrammet.

Impedansmetoden. Tekniken innebär att en känslig omformare kopplas till materialet. Fysiska förändringar i materialet påverkar omformarens impedans. Man mäter här förändringar bl a av resonansfrekvens och amplitud.

Dekrementteknik. Man mäter här dämpningen i en limmad struktur efter att materialet satts i svängning. Metoden kan bl a utnyttjas så att hela konstruktionen sätts i egenfrekvens. Man observerar sedan hur svängningarna avtar exponentiellt.

Intermodulärteknik. Svängningar vid två olika frekvenser alstras samtidigt i materialet. Den ena svängningen har relativt låg frekvens. Den har till uppgift att rent mekaniskt variera spaltbredden om ytorna är olimmade. Den andra svängningen har relativt hög frekvens. Med hjälp av denna kan man upptäcka limningsfel.

Akustisk emission. Metoden bygger på att materialet runt limfogar utsätts för ett dynamiskt spänningsfält. Detta ger små lokala plastiska deformationer i materialet och områden där limningen är dålig. Deformationsarbetet förbrukar energi. Med hjälp av en omformare kan man mäta limfogens relativa styrka.

Värme + IR-kamera används bl a för att kontrollera helikopterblad. Varmluftspistoler blåser hetluft på den yta som skall kontrolleras. En känslig IR-kamera, som mäter temperaturskillnader på tiondels grader, avslöjar den skillnad i värmeöverföring som limfel skapar.

Fokker Bondtester är en lättillgänglig utrustning som bygger på en kombination av ultraljud och impedansmätning. Frekvensändringar som ett

resultat av limfogskvalitet lär göra det möjligt för en tränad operatör att utläsa inte bara bra eller dålig, utan även få ett visst hållfasthetsmått på limfogen. Mätsonden måste ha kontakt med materialet. Oftast måste också en kontaktvätska användas.

Holografi bygger på att man tar ett hologram på en obelastad, limmad konstruktion (oftast en sandwich-panel). Detta hologram jämförs sedan med det hologram som uppstår när konstruktionen belastas. Belastningen kan t ex alstras genom att åstadkomma ett undertryck i en sandwich-panel. Så små rörelser som 0,01 μm (= 0,000 01 mm) kan registreras.

Belastning till normlast är en oförstörande provning av limmade konstruktioner. Principen är att man belastar produkten till brott, under mycket precisa förhållanden. En deformationskurva ritas upp. Genom att sedan belasta limfogarna på samma sätt — men till en lägre nivå än den där brott förväntas uppstå — och jämföra deformationskurvorna, får man en antydan om fogens kvalitet.

Alla de ovan beskrivna metoderna måste naturligtvis anpassas till de produkter och limfogar man vill prova. Man behöver också betydligt mer kännedom om metoderna än vad som redovisats här för att kunna värdera och använda dem.

Att det är lättare att stämma i bäcken än i ån har vi konstaterat tidigare. Alla de moment som finns redovisade under *"Limningsarbetet steg för steg"* ger möjlighet till variationer. Utnyttjas dessa möjligheter utan begränsningar kommer kvalitén på limfogen att variera inom mycket vida gränser.

Det är omöjligt att hålla en jämn kvalitet på limfogarna utan en noggrann styrning av arbetet. Detta kan åstadkommas på två sätt.

- Byggande av en maskin som alltid gör likadant.
- Utfärdande av en arbetsbeskrivning, med data och toleranser, över hur arbetet skall utföras. Därtill behövs utbildning och hjälpmedel som gör det möjligt att följa arbetsbeskrivningen.

Normalt klarar man inte att hålla en jämn kvalitet med dessa åtgärder. Det behövs en fortlöpande kontroll.

Kontrollen kan delas in i följande områden:

- Ingångsmaterial (lim och material)
- Teknik och utrustning (nivå och kvalitet)
- Lokaler (renhet, rel. fuktighet, temperatur)
- Personal (utbildning/kunskap)
- Process (tider, temperaturer)

Utfärdande av en arbetsbeskrivning som kombinerats med journal, att föra över viktiga moment och data, kan vara ett sätt att hålla kvaliteten uppe, samtidigt som man har en kontroll över vad man har gjort.

Arbetsbeskrivningen bör innehålla:

- Baskunskaper om limmets funktion.
- Generella arbetsregler, t ex:

  Alla ytor som skall limmas skall slipas.

  All hantering av material skall ske med rena bomullsvantar på händerna.

  Materialet skall alltid ha förvarats i 20°C minst 24 timmar före limning.

  Limspridning skall alltid ske på båda ytor.

  Den som utför ett arbetsmoment har ansvar för dess genomförande och signerar arbetsjournalen.

  Vid tveksamhet — kontakta arbetsledare.
- Uppställning över material och utrustning som skall finnas tillgänglig vid arbetets början. (Man skall inte behöva leta efter något som man glömt när limningen väl är startad.)
- Uppställning över hjälpmedel som behövs för att mäta och kontrollera limningsarbetet (t ex tidur, hygrometer, termometer, våtskiktsmätare etc)
- Noggrant och eftertänksamt utförd arbetsbeskrivning, som tar hänsyn till tider, temperaturer, luftfuktighet (variationer), limmängder. Se gärna i kapitlet *"Limningsarbetet steg för steg."*
- Journal där viktiga tider och data ifylles och signeras.

Beroende på limtyp, produkt och kvalitetskrav kan man välja mellan att helt utesluta allt som sagts ovan — eller att utforma en mycket noggrann beskrivning.

Limleverantören bör kunna ge underlag för utfärdande av en anpassad arbetsbeskrivning.

Ett relativt enkelt sätt att kontrollera att man verkligen gjort som man skall är att använda sig av ett referensprov. Referensprovet består av ett par standardiserade provbitar (lika från gång till gång). Dessa provbitar genomgår samma behandling som produktionslimningarna, dvs:

- Av samma materialkvalitet.
- Samma förbehandling (samma bad om våt metod används).
- Limmade med samma lim (samma tillverkningsnummer).
- Härdade under samma förhållanden (presstryck, presstid, temperatur).
- Provade efter lika lång tid efter limning.

Kan man prova dessa referensprover på ett sätt så att man kan utnyttja hållfastheten i siffror, och genomför provningarna på lika sätt varje gång, så får man snart ett hållfasthetsintervall inom vilket man bör ligga för godkända limfogar.

Utrustning för dosering, blandning och applicering.

Utvecklingen av applicerings- och styrutrustningar har kommit långt. Det finns möjligheter att applicera lim i praktiskt taget alla mönster och former.

Steget från pensel eller limtub till robotapplicering blir dock ganska långt. Det kan finnas anledning att ta ett kortare kliv.

Storleken på ytorna som skall limbeläggas, antalet produkter som skall tillverkas per tidsenhet och inte minst limtypen, kommer givetvis att inverka på vilken utrustning som behövs.

Lim kan förekomma i mycket låga viskositeter (tex cyanoakrylat), som trögflytande pastor eller i fast form, som pulver, granulat eller klumpar.

Prinicipiellt kan följande appliceringsmetoder användas:

- Pensling
- Doppning
- Extrudering
- Spackling (tandad spackel)
- Tryckning (indirekt påföring)
- Valsning (indirekt påföring)
- Sprutning (spray)
- Screentryckning
- Kapillärinsugning
- Injicering

Limning i produktionen blir som regel inte lyckad förrän lim och utrustning är samstämda.

Det betyder att man kan inte välja utrustning förrän man känner till limmets egenskaper.

Ett nära samarbete mellan leverantör av lim och leverantör av utrustning bör ske i ett tidigt stadium av projekteringsarbetet.

Här följer en kort presentation av olika appliceringsutrustningar — från de enklaste till de mer avancerade — att tjäna som idékälla och diskussionsunderlag.

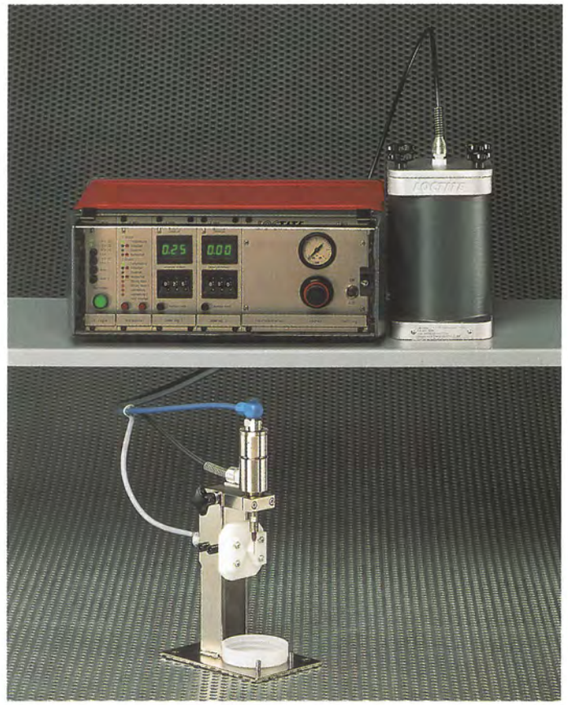
Pensel, roller, tuber, plastflaskor och tandade spacklar tillhör de etablerade och mindre utvecklade utrustningarna (även om det finns både självpåfyllande penslar och rollers) och behandlas inte vidare här.

De lågviskösa limtyperna, som tex cyanoakrylat och anaeroba lim kan lätt doseras i reproducerbara, små droppar med en maskin som arbetar med övertryck — tid — undertryck. Limmet placeras då vanligen i en liten injektionsspruta och förbinds med styrutrustningen via en plastslang. (Bild överst på nästa sida.)

Till dessa sprutor finns ett stort antal olika munstycken.

För användning av större kvantiteter lim finns andra, mer avancerade system utvecklade.

Lim och tätningsmedel finns ofta förpackade i 300 ml patroner. Närmast till hands är att tömma dessa med hjälp av enkla handpistoler. Tryckluftsdrivna sprutor gör arbetet enklare.



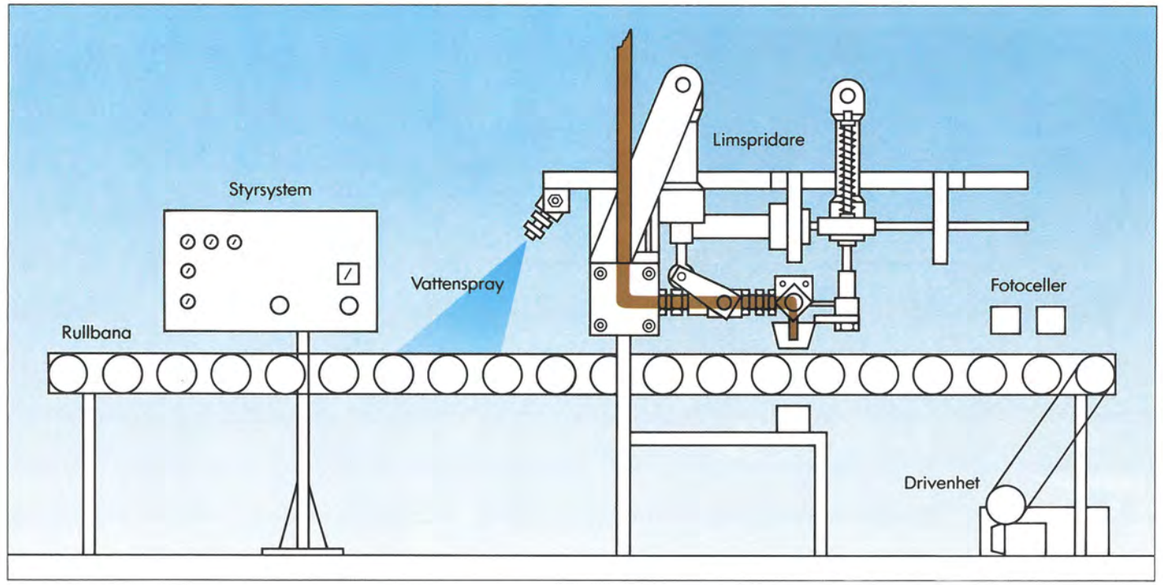
Det finns också utrustning som gör det möjligt att själv fylla återanvändbara patroner med det lim som man önskar.

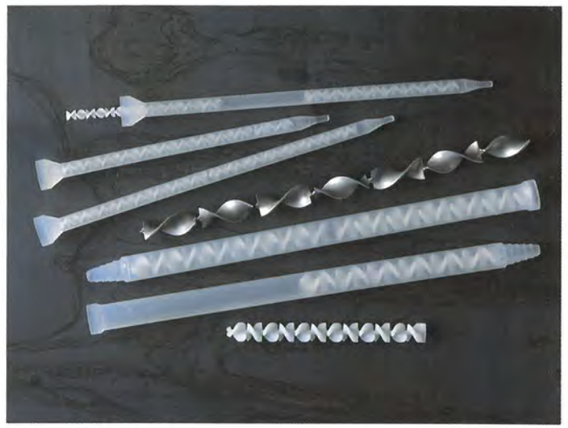
Nästa steg upp i storlek är att tömma materialet från fat. Bilden visar en luftpump monterad på ett fat med 1-komponent, fukthärdande polyuretanlim. På luftintaget finns en torkpatron monterad, som hindrar fuktig luft från att komma in i limfatet. Till pumpen är ansluten en handkratta för manuell applicering av lim.

För samma limtyp finns automatiska system med stora spridningsbredder och separata avstängbara sektioner. Utrustningen täcker även automatiskt över munstyckena för att förhindra härdning i dessa.

Ett system för automatisk limspridning på skivmaterial kan se ut som på bilden till höger och den schematiska illustrationen nedan.

I trälimmande industri sprids limmen vanligen med valsspridare.





En betydligt enklare valsutrustning utgör handlimspridaren. Limspridaren förses med ett långt skaft och fylls med färdigblandat 2-komponent polyuretanlim.

Det finns även möjligheter att hantera 2-komponentlim som om de vore 1-komponent.

För mindre förbrukning finns möjlighet att köpa färdiga förpackningar med tex epoxilim. Dessa kan placeras i en enkel appliceringspistol och förses med ett statisk mixer-munstycke. På detta sätt får man ut rätt doserat och luftfritt blandat lim i den mängd man behöver.

De statiska blandarrören innehåller inga rörliga delar. Fasta vingar tvingar komponenterna att flätas samman i allt tunnare trådar.

Dessa blandningssystem blir allt vanligare även på stora utrustningar. Plastdetaljerna är relativt billiga och kan eventuellt betraktas som förbrukningsmaterial. I större system finns ofta en renspolningskrets med lösningsmedel.

För att undvika lösningsmedelshantering kan man ibland frysa ner blandarröret för att stoppa härdningen.

Vid förbrukning av större mängder lim kan förpackningsformen med tvilling- eller koaxialpatroner bli alltför kostsam.

Nästa steg kan bli att köpa tompatroner för egen fyllning och återanvändning. Dessa finns för olika blandningsförhållanden. Kringutrustning i form av tubfyllare och pistoler finns också tillgänglig.

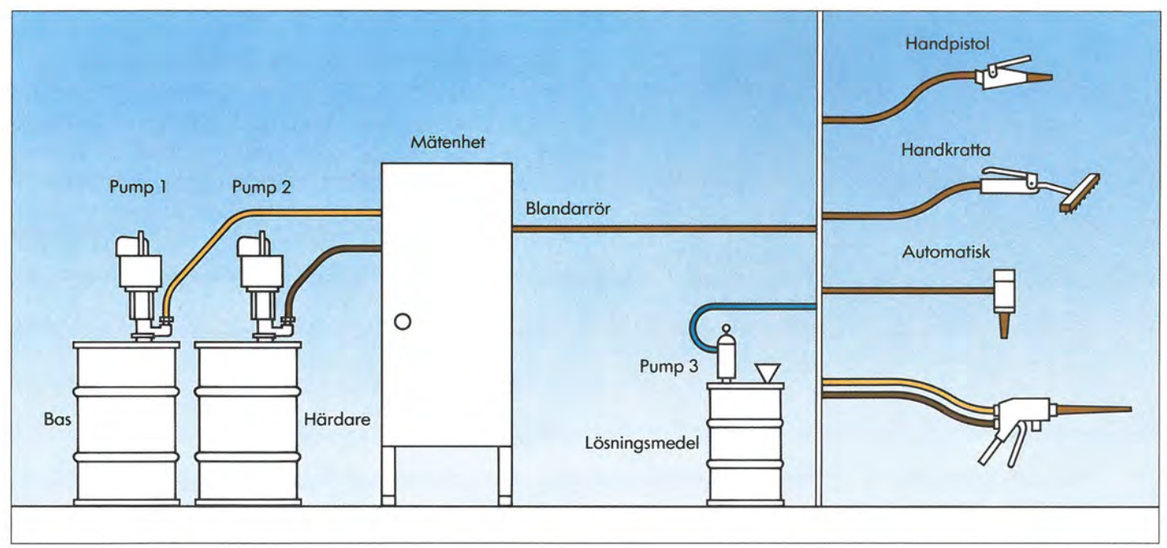
För uttag av blandat lim i måttliga mängder från en fast station kan en liten, tryckluftsdriven, stationär utrustning vara lagom.

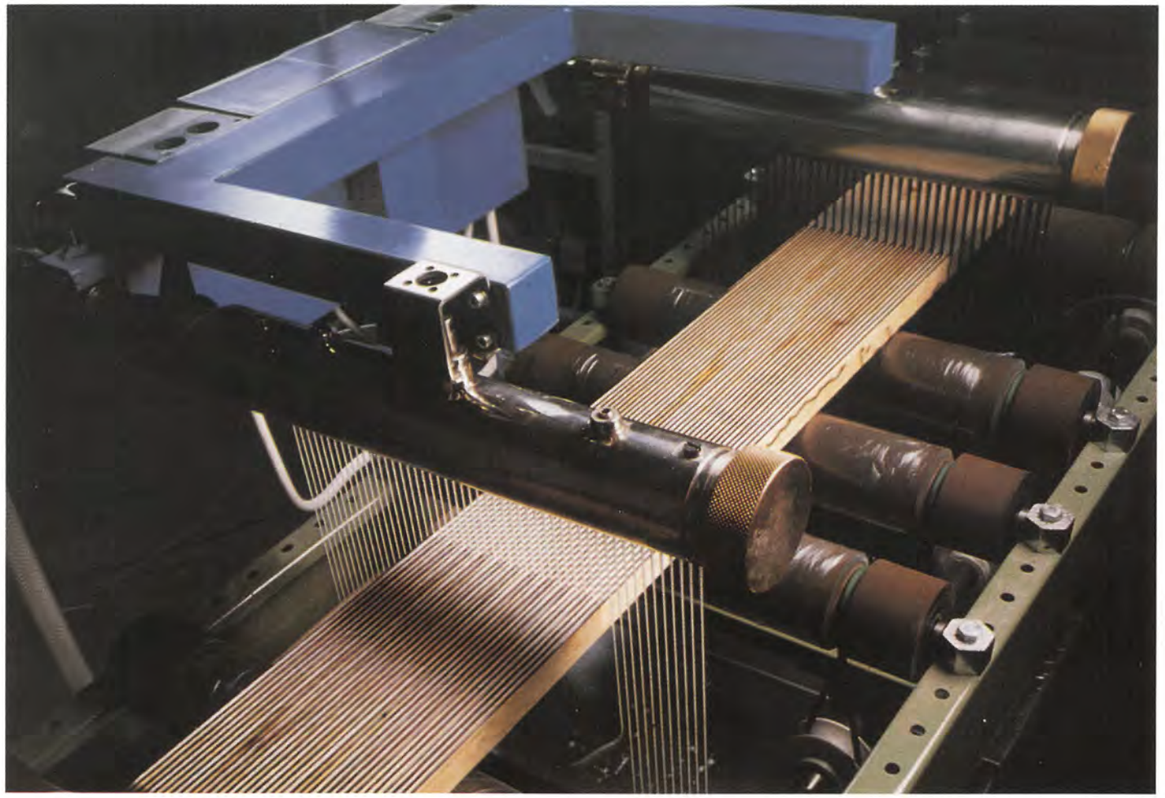
En något större utrustning för skott-applicering kan se ut som på bilden ovan.

I storlek uppåt finns det inga begränsningar för hur stora utrustningar som kan byggas.

De doseringsutrustningar som har möjlighet till justering av blandningsförhållandet måste byggas mycket stabila och glappfria. Variationer eller förskjutningar i blandningsförhållandet kan annars lätt uppstå.

Utrustning som arbetar med fasta blandningsförhållanden och tvångsdosering är att föredra ur säkerhetssynpunkt.





För applicering av tex fenolresorcinol-lim inom träindustri, tex för limning av limträ, finns möjligheter till separatspridning av lim och härdare. Lim respektive härdare cirkulerar i systemet och kommer aldrig i kontakt med varandra i utrustningen.

Detta är normalt inte möjligt för andra limtyper. Dessa måste blandas.

Det finns dock ett system för limning av sandwichpaneler med snabba 2-komponentlim. I denna utrustning blandas lim och härdare på materialet sedan det separatapplicerats. Blandaren är en enkel wellpapp- eller plastskiva som rör sig i förhållande till materialet och gnider ihop komponenterna.

Smältlimsanvändning kräver alltid någon form av utrustning. Den finns, från de allra minsta där limstaven trycks fram med tummen, till stora utrustningar, där limmet tas från helt fyllda 200-litersfat. Det finns möjlighet att applicera smältlim i punkter, strängar, som spray eller med hjulapplikatorer. Med sk rotospray appliceras en tunn limsträng i ett nätmönster över materialet. Så lite lim som 4—5 gram/m² är möjligt att sprida på detta sätt.

För applicering av lim i komplicerade former finns också flera olika system på marknaden.

Ett enkelt sätt att sprida lim på plana ytor är att använda screen-metoden. Den bygger på en duk som är spänd i en ram. Duken är tät, utom där man vill ha igenom lim. Limmet förs över duken med hjälp av en gummiraka och pressas igenom de öppna maskorna.

Olika maskgrovlek kan väljas för olika limmängd. Screentryckningsutrustning för olika grader av automatisering finns tillgänglig.

En förutsättning för metoden är att ett lim som inte stelnar snabbt används.

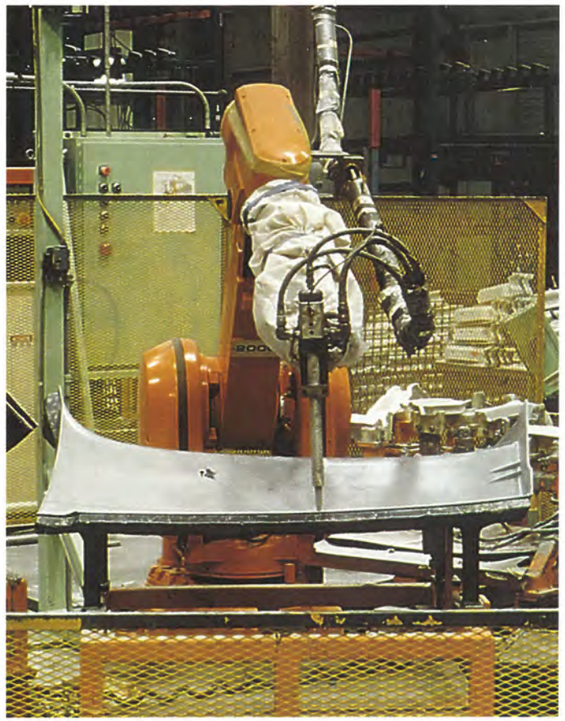
Många olika datoriserade system finns, tex små PC-styrda som arbetar i x — y-led.

De utrustningar som ursprungligen utvecklats för ritbord eller tex gasskärning med optisk läsning börjar också användas för limapplicering.

Vanliga industrirobotar används för limspridning inom bilindustrin.

Dessutom finns utrustning som klarar mycket noggrann formföljning, med möjlighet till varierande strängtjocklek.

Kort sagt: *Det mesta finns! Vad som behövs kan vara lite hjälp att hitta rätt utrustning.*



Vad kostar det att limma?

"Vad limmet kostar per liter är inte så svårt att få reda på. Det är ofta det enda påtagliga man har att räkna på."

Arbetskostnader och kostnader för investeringar blir det vanligen svårare att få grepp om — speciellt om man inte är riktigt säker på vad och hur man skall göra!

Gör man en uppställning över alla kostnader som berör limningen kan den komma att se ut som följer:

- Förbehandlingskostnad
  - Material
  - Arbete
  - Lego
- Limkostnad
- Investering i utrustning
- Fasta kostnader (lokal, värme etc)
- Energi (varmpress, torkugn, extra ventilation etc)
- Fogrensning efter limning
- Provning
- Kassation
- Tillkommande lagringskostnader
- Tillkommande transportkostnader

Hur stora dessa kostnader blir beror givetvis på vilka moment som blir nödvändiga att införa — och på hur många produkter kostnaderna fördelas.

Hur många enheter tänker man sig att producera? Fördelar man årsproduktionen på ca 1600 arbetstimmar, syns det tydligt vilken produktionstakt som krävs (tex femtio enheter per timme). Det ger en antydan om hur snabba lim som krävs, om en eller flera produktionslinjer blir aktuella, hur många press- eller fixeringsmöjligheter som går åt. När man ser ett produktflöde framför sig kan man också ana hur mycket produktionspersonal som krävs.

Det kan också vara praktiskt att göra en grovkalkyl över kostnaderna innan man börjar fundera över det specifika limmet.

Antar man en årsproduktion på tex 50 000 produkter, tre års avskrivningstid på investeringar, kan man lätt se hur mycket varje 100.000-kronors-investering belastar varje enhet:

$$\frac{100\,000 \text{ kronor}}{50\,000 \text{ enheter} \times 3 \text{ år}} = 0{,}666\ldots \text{ kr}$$

(exkl räntekostnader)

Ser vi sedan på arbetskostnaden och antar att ett manår kostar tex 200.000 kronor, blir kostnaden per enhet:

$$\frac{200\,000 \text{ kronor}}{50\,000 \text{ enheter}} = 4 \text{ kronor}$$

...för varje person som sätts in.

Innan vi vet vilket lim som skall användas kan man anta limkostnader på tex 10, 100 och 1 000 kr/kg.

Räknar man med en limåtgång på tex 100 gr/m² och en fogyta på 0,1 m² ser vi lätt hur kostnaderna slår:

$$10 \text{ kr} \times 0{,}1 \text{ m}^2 \times 0{,}1 \text{ kg/m}^2 = 0{,}10 \text{ kr}$$

Ett lim som kostar 100 kr/kg ger förstås en kostnad på 1 krona/enhet och ett som kostar 1 000 kronor, en limkostnad på 10 kronor/enhet.

Med denna kalkyl för ögonen blir det lättare att se vad man bör inrikta sig på för att hålla kostnaderna nere.

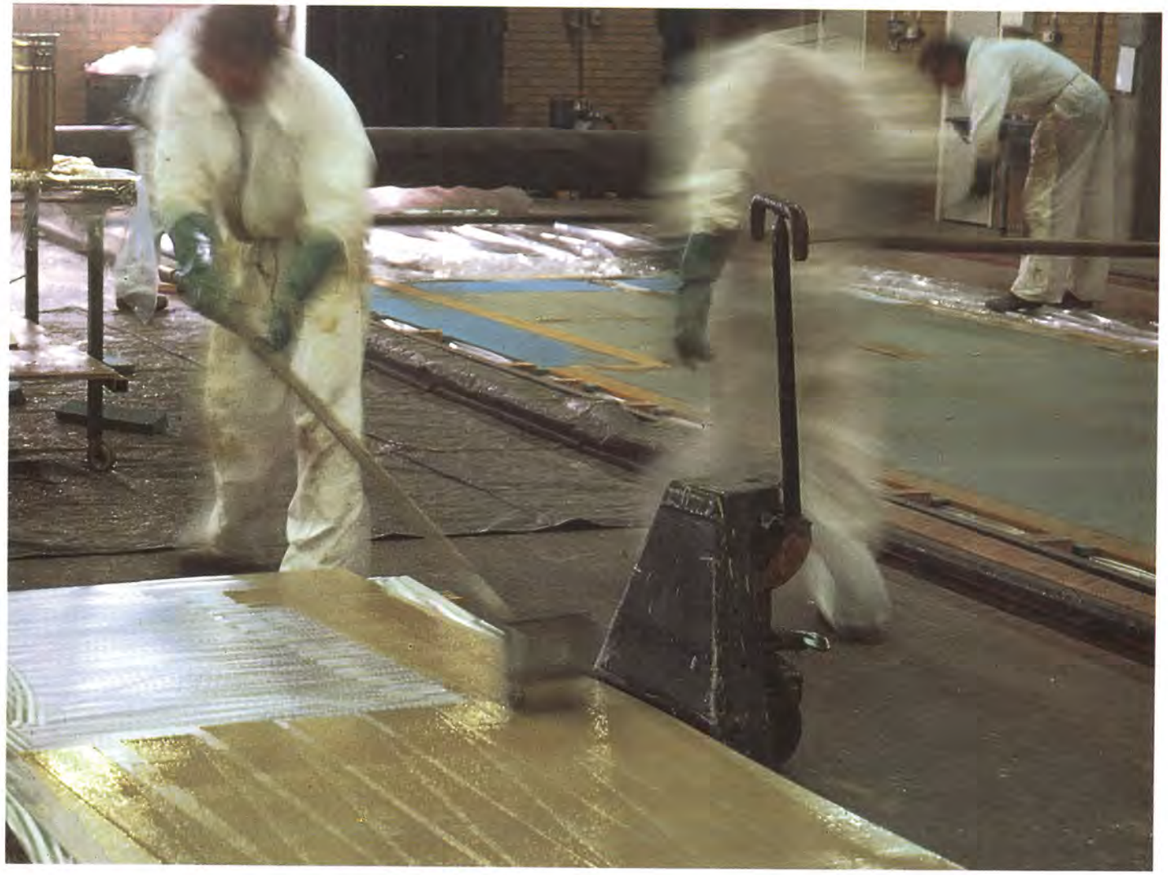
Vilket spar man mest på?

- Att hitta ett billigt lim?
- Investera mer och minska personalkostnaden?

Visar det sig att limkostnaden ger stort utslag i kalkylen, bör man intressera sig mer för hur mycket lim som går åt. Man bör notera att lim ibland prissätts per liter och ibland per kilo.

Det är bara det lim som blir kvar i fogen som gör någon nytta. Ett billigt lim som innehåller 70 % avdunstande lösningsmedel eller kanske 50 % vatten, kostar då egentligen mellan två och tre gånger så mycket eftersom endast 50 respektive 30 % blir kvar i fogen. Till detta kan komma en merkostnad för torkning eller ventilation.

Sedan man fått en bild av produktflöde och totalekonomi är det lättare att börja söka det lim och limningssätt som ger den bästa limningsekonomin.



Litteraturförteckning.

Trälimning. *Eirik Raknes. Översatt och bearbetad av Torbjörn Schmidt. Trätek, Stockholm, Jönköping, Skellefteå 1988.*
(Beträffande trälimning finns normer och regler som inte har sin motsvarighet för annan limning.)

ivf-resultat 81631. Limning, mekaniska förband eller både och? *Christer Bramberger och Åke Dolk, 1982.* Skriften behandlar fogning av tunnväggiga plåt och plastmaterial.

ivf-resultat 85605. Limning och limapplicering för verkstadsindustrin. *Heléne Karlsson, 1985.*

ivf-resultat 85624. Automatisk applicering av lim i flytande form. *Heléne Karlsson, 1986.*

Automatiserad limning. *Morgan Svensson. Föredrag vid Tekniska veckan 1989, STF-Ingenjörsutbildning, Stockholm.*

Rost- och skadereparation av fordon med limningsteknik. *Folksam, 1985.*

Limning av aluminium. *Gränges Aluminium. Aluminium Teknik, Finspång, 1989.*

Mekaniske Verksteders Landsforening, Oslo, har publicerat några skrifter om limning under rubriken **"Limforbindelser i maskinkonstruksjon":**

VF-publikasjon 80/4. Overflatebehandling av metaller og plast. *P. d'Erasmo og P. Renolen, 1980.*

VF-publikasjon 77/11. Kvalitetsstyrning og kvalitetskontroll. *Pietro d'Erasmo, 1977.*

VF-publikasjon 77/12. Arbeidshygieniske hensyn. *Ranveig K, Tinmannsvik, 1977.*

Adhesives Handbook. *J. Shields, Butterworths, London 1984.* Boken är verkligen en handbok. Den beskriver t ex alternativa förbehandlingsmetoder för praktiskt taget alla material. Den innehåller många jämförande tabeller om hållfasthet och beständighet för olika limtyper och beskriver också kortfattat de olika limmen.

Metallkleben. *Berlin 1969. Sammanställt av A Matting.*

Durability of Structural Adhesives. *Sammanställd av A J Kinloch. Applied Science Publishers, London and New York 1983.* Denna bok är en mycket god översikt av långtidshållfasthetsfrågorna — speciellt för metallimningar.

Adhesion in bonded aluminium joints for aircraft construction. *W Brockmann, O-D Henneman, H Kollek, C Matz. International Journal of Adhesion and Adhesives, Volume 6, No 3, July 1986.* Denna publikation ger en ingående förklaring till de fenomen som man tidigare mest haft praktiska erfarenheter av.

Några ordförklaringar.

Adhesion: Krafter mellan molekylerna i två olika material, t ex mellan limmet och ena fogytan.

Alkaliskt rengöringsmedel: Jämför med skurpulver eller rengöringsmedel med ammoniak.

Användningstid: Brukstid.

Brukstid: Den tid limmet kan användas så att vätning kan ske sedan härdare tillsatts.

Diffusion: Invandring av molekyler eller ett ämne i ett annat ämne.

Dispersion: Små fasta partiklar uppslammade i en vätska. När det gäller lim är det som regel plast- eller gummipartiklar i vatten.

Efterhärdning: Härdning som sker efter det att limmet har stelnat.

Föreningar: Reaktioner eller bindningar mellan två olika material.

Förhärdning: För tidig härdning, eller härdning innan ytorna kommit i kontakt med varandra, så att limöverföring och vätning ej hunnit ske.

Förtorkning: Torkning innan limöverföring skett (se förhärdning).

Gränsskikt: Det ytterst tunna skikt där lim- och materialmolekyler möter varandra.

Hygieniskt gränsvärde: Den mängd av ett ämne i luften, som betraktas som ofarligt vid inandning under en arbetsdag.

Kallflytning: Deformationer i limmet som uppstår under belastning i rumstemperatur.

Klorerade kolväten: Icke brandfarliga lösningsmedel (Tri-typ).

Kohesionskrafter: Krafter mellan molekylerna inne i ett material (sammanhållande krafter).

Limbom: Del av limfogen där lim saknas eller limmet inte har vätt materialet.

Lösning: Upplösning av ett material i ett annat utan någon kemisk reaktion.

Monteringstid: Se öppentid.

my: μm, mikrometer, tusendels millimeter, 10^{-3}.

Potlife: Anger tiden från härdartillsats, tills limmet ej kan användas. (Vanligen provat på 100 g sats).

Presstid: Den tidsperiod som detaljerna minst skall vara i press, innan fortsatt hantering.

Profildjup: Avståndet mellan dalar och toppar i ytojämnheter.

Separatspridning: Spridning av lim och härdare för sig, endera på varsin yta, eller i två skikt ovanpå varandra.

Takgränsvärde: Högsta tillåtna koncentration av ett ämne i luften, mätt under 15 minuter.

Torrhalt: Andel av limmet som återstår efter eventuell lösningsmedels- eller vattenavgång.

Vattendispersion: Se dispersion.

Vidhäftning: "Slarvigt" uttryck för adhesion.

Viskositet: En vätskas flytegenskaper (lättflytande, trögflytande).

Vätning: Spontan utflytning av limmet.

Ytprofil: Profildjup, ytojämnheter, ytans topografi.

Ytomvandling: Ytspänningshöjande behandling på plastmaterial.

Ytspänning: Spänning i ytan som uppkommer på grund av materialets strävan att "bli en sfär."

Öppentid: Tid från limspridning till pressning.

Kravprofil för limmad konstruktion.

Företag: _____

Kontaktperson: _____

Telefon: _____

Konstruktionsstadium.

Konstruktionen är på idéstadiet ☐ Påbörjad ☐ Slutförd ☐

Vad är det som skall limmas?

Objektets benämning: _____

Vilka material och ytbehandlingar är aktuella?

Material 1: _____ Ytbehandling: _____

Material 2: _____ Ytbehandling: _____

Vad kommer konstruktionen att utsättas för?

Temperatur, °C, normalt: _____ max: _____ min: _____

Användningsmiljö: _____ Speciella påkänningar?: _____

Vilka laster beräknas limfogen utsättas för?

Skjuv ☐ Drag ☐ Klyv ☐ Fläk ☐ Total belastning på konstruktionen: _____ N

Belastningens frekvens: Statistik ☐ Växlande ☐ Slag ☐ Kryp ☐

Hur stor är fogytan?

_____ × _____ mm. Skiss/ritning bifogas ☐

Vilka produktionsbetingelser kommer att gälla?

Seriestorlek: _____ antal/år. Värmehärdning möjlig ☐ Max temp _____ °C

Befintlig utsrustning: _____

Investeringsmöjligheter: Inga ☐ Måttliga ☐ Goda ☐

Tänkt tidpunkt för genomförande.

_____ månad, år _____

Övriga upplysningar.

_____

Noteringar.

Limning är en metod att förbinda olika material och komponenter på samma sätt som nitning, skruvförbindning, svetsning, lödning etc. Om de senare förbindningsmetoderna har mängder av litteratur på olika nivåer utgivits. Däremot är det klent med litteratur inom limning. Det är därför med stor tillfredsställelse jag läst denna handbok.

Handboken är baserad på stor praktisk erfarenhet av limning och alla därmed förknippade problem. Boken är mycket välillustrerad med skickligt valda och utförda bilder, som på ett enkelt sätt illustrerar svårförståeliga fenomen.

Handboken bör studeras av såväl konstruktörer som tillverkare och operatörer som skall utföra limning, för att ge ökad förståelse och motivation för arbetet och därigenom ge ett bättre slutresultat.

Jag har själv mycket stor respekt framför allt för limning av stora ytor, t ex i sandwichkonstruktioner, men vi har visat att i ett 50 m långt fartyg kan samtliga strukturella förband utgöras av limfogar utan nitar eller skruvar. Jag hoppas att tillkomsten av denna handbok skall sprida kunskap om hur man löser limningens problem och tar tillvara dess fördelar för att föra utvecklingen framåt.

Karl-Axel Olsson
Professor, Tekn.Dr.
Institutionen för Lättkonstruktioner
Kungliga Tekniska Högskolan

Casco Nobel
Nobel Industrier

9 789163 006081