

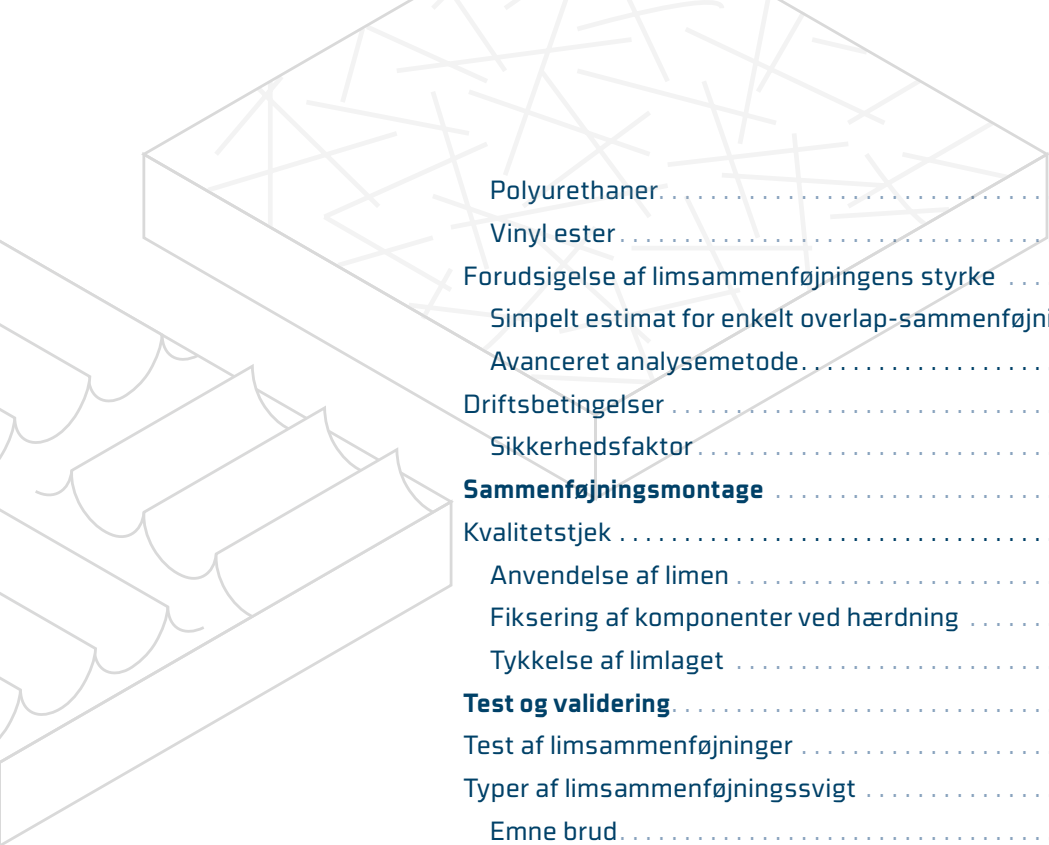
VEJLEDNING TIL LIMNING AF KOMPOSITMATERIALER



VEJLEDNING TIL LIMNING AF KOMPOSITMATERIALER

Introduktion	4
Design af limsammenføjninger	5
Belastninger af limsammenføjninger	6
Typer af limsammenføjninger	8
Overlap-sammenføjninger	8
Endestillede sammenføjninger	10
Rørformede sammenføjninger	11
Andre typer af sammenføjninger	12
Kompositkomponent design	14
Stivhed	14
Geometri	16
Tværgående styrke	18
Overfladebearbejdning	20
Slibning	20
Peel-ply	22
Plasma	23
Valg af lim	24
Epoxy	24
Methacrylater	25





Polyurethaner	25
Vinyl ester	25
Forudsigelse af limsammenføjningens styrke	26
Simpelt estimat for enkelt overlap-sammenføjninger	26
Avanceret analysemetode	28
Driftsbetingelser	29
Sikkerhedsfaktor	29
Sammenføjningsmontage	31
Kvalitetstjek	32
Anvendelse af limen	33
Fiksering af komponenter ved hærdning	34
Tykkelse af limlaget	34
Test og validering	36
Test af limsammenføjninger	36
Typer af limsammenføjningssvigt	37
Emne brud	37
Kohæsive brud	38
Adhæsive brud	38

4 INTRODUKTION

Denne vejledning har til hensigt at give designere og ingeniører en fundamental forståelse for design, sammenføjning og validering af limninger af plastkompositmaterialer.

Limning af kompositmaterialer er et omfattende emne, og kritiske strukturer kræver specialiseret viden, avanceret analyseudstyr og omfattende testprogrammer. Simple beregninger og undersøgelser er dog, ved mange anvendelser, tilstrækkelige til at kunne fremstille pålidelige limninger.

En fordel ved at lime i forhold til at bolte og nitte kompositmaterialerne sammen er, at kraftpåvirkningen overføres til et større areal. Dette muliggør produktionen af lettere/stivere strukturer af flere komponenter i kompositmaterialerne.

Yderligere er det muligt at reducere både monterings tiden og antallet af komponenter til sammenføjning betragteligt ved limning. I modsætning til boltning og nitning dannes styrken af sammenføjningen ved hærkning af limen, og selve styrken af sammenføjningen kan derfor kun verificeres ved fysiske undersøgelser. Det er derfor vigtigt at have kontrol med alle parametre under limningsprocessen.

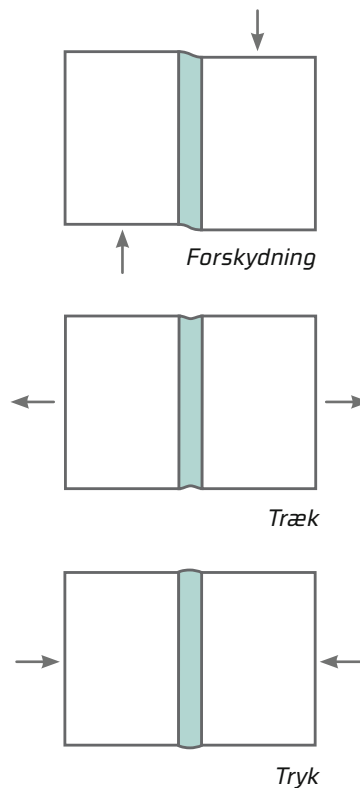
Denne vejledning er inddelt i tre hovedafsnit, der omfatter aspekterne i forhold til design, sammenføjning og validering, med fokus på design af limsammenføjningerne. Vejledningen er fortløbende, og det anbefales derfor, at hele vejledningen gennemlæses for at sikre en vellykket limning.

DESIGN AF LIMSAMMENFØJNINGER ›



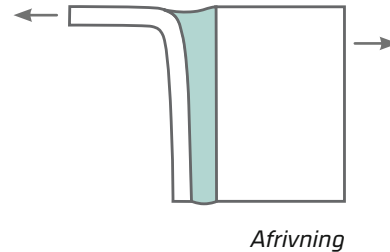
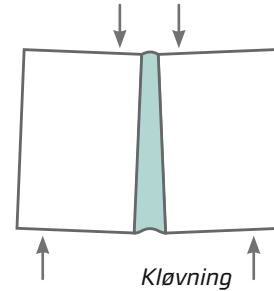
6 BELASTNINGER AF LIMSAMMENFØJNINGER

Det er vigtigt at forstå de forskellige typer af belastninger, og hvordan disse påvirker limningen, for at designe den optimale sammenføjning. Limninger fungerer bedst i anvendelser, hvor belastning er i træk-, tryk- eller i forskydningsmode, se figur til højre. Limsammenføjningerne skal, så vidt muligt, designes således, at disse belastes som vist på figuren til højre.



Kløvning og afrivning er to typer af belastninger, der kan give brud selv ved relativt lave belastninger, se figuren til højre.

Kløvning forekommer ved stive strukturer, mens afrivende belastninger forekommer, når den ene komponent i strukturen begynder at fjerne sig fra den anden. I begge tilfælde opstår store trækspændinger ved kanterne af limningen, der kan lede til begyndende revnedannelse. Disse typer af belastning skal derfor så vidt muligt minimeres.



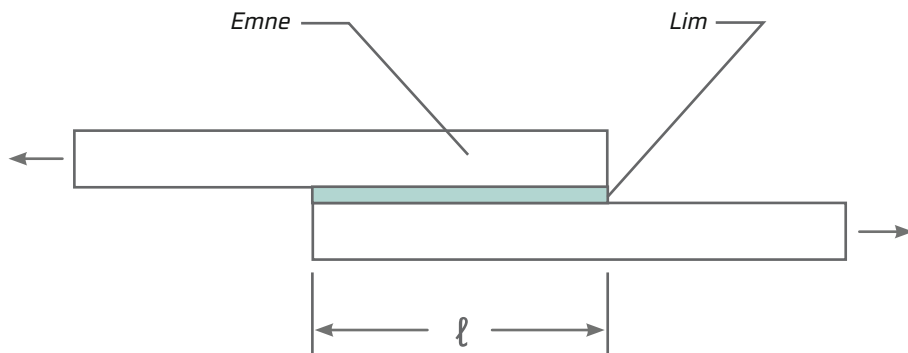
"Afrivningsbelastning er den største fjende for designere af limsammenføjninger", R.D Adams

8 TYPEN AF LIMSAMMENFØJNINGER

Overlap-sammenføjninger

Overlap-sammenføjninger har mange anvendelsesmuligheder, hvor den simpleste er enkelt overlap-sammenføjning, vist i nedenstående figur.

Sammenføjningen er nem at fremstille, og længden af overlappet (l) kan justeres, således at det belastningsbærende område øges.

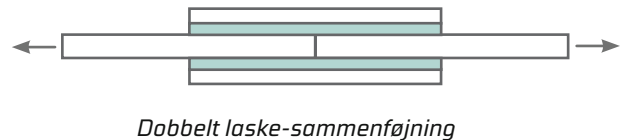
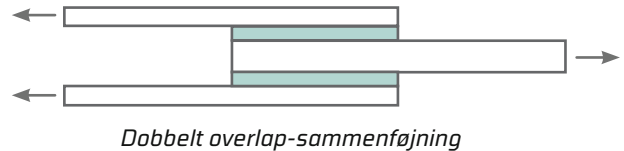


Enkelt overlap-sammenføjning

Dette kan virke simpelt, men en forskydning af emnerne vil lede til komplekse belastninger af limen, der er en kombination af forskydning, afrivning og træk belastninger. Dette resulterer i, at sammenføjnngen får en lavere styrke i forhold til, hvis limningen kun var belastet under forskydning.

Enkelt overlap-sammenføjninger er blevet industriens standard til bestemmelse af den gennemsnitlige forskydningsstyrke af limningen, og værdier fra leverandører er ofte baseret på denne testmetode.

Tre andre almindelige typer af overlap-sammenføjninger er vist her.



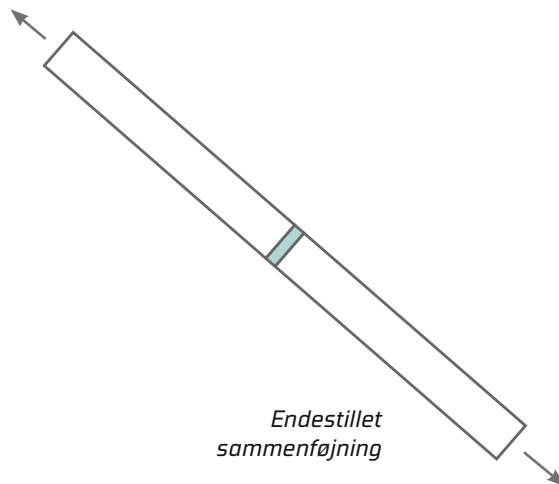
Enkelt laske-sammenføjninger er i bund og grund to enkelt overlap-sammenføjninger (højre side er et spejlbillede af venstre side af sammenføjningen). Dette resulterer i en belastning og styrke af limningen, der er sammenlignelig med enkelt overlap-sammenføjninger. En fordel er, at undersiden af limningen er glat, hvilket kan være påkrævet ved nogle applikationer.

Dobbelt overlap- og dobbelt laske-sammenføjninger er symmetriske omkring den horisontale akse, hvilket reducerer afrivning og trækbelastninger i forbindelse med forskudte emner. Dette giver en stærkere sammenføjning, men disse typer er i praksis svære at producere.

Endestillede sammenføjninger

Endestillede sammenføjninger kan være et passende valg i nogle applikationer, forudsat at overfladearealet af emnerne er tilstrækkeligt stort, se figuren til højre.

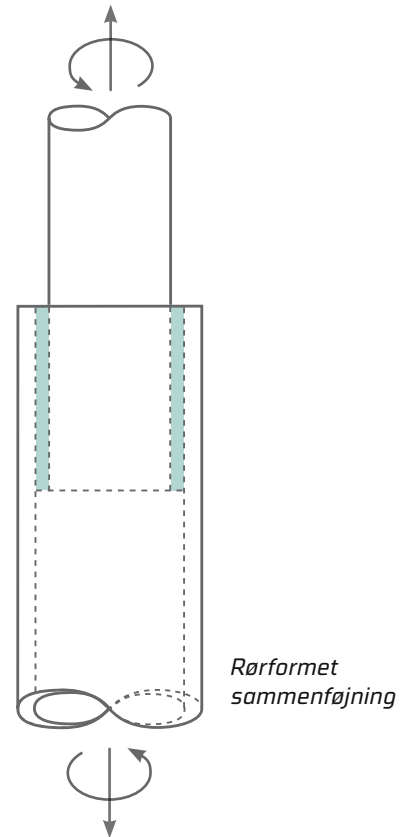
En ulempe ved denne type sammenføjning er, at stivheden udelukkende er bestemt af limningen, der som regel er lav sammenlignet med emnerne. Denne type af sammenføjning er også tilbøjelig til kløvning, hvis der er en skævhed i trækkræfterne.



Rørformede sammenføjninger

Rørformede sammenføjninger er enkelt overlap-sammenføjninger, som er udvidet omkring en cylindrisk overflade, se figur til højre.

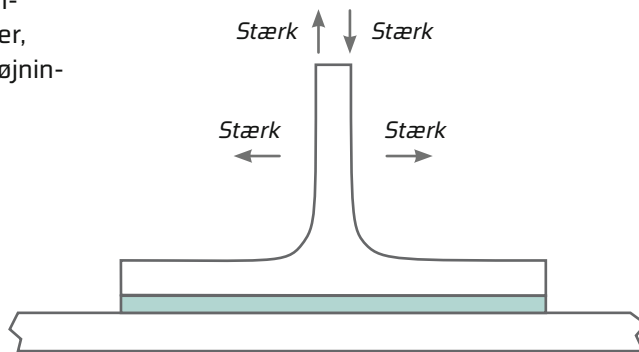
Disse sammenføjninger er fremragende ved vridninger, grundet det store overfladeareal, hvorigennem vridningsmomentet transporteres, og belastningen af sammenføjningen er primært i forskydningsmode. Yderligere er denne type god i træk og tryk, idet rundingen og symmetrien af rørene medvirker til at reducere afrivning og trækbelastninger, der ellers opleves ved enkelt overlap-sammenføjninger.



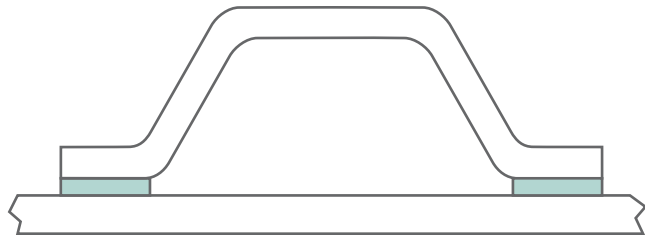
12 TYPER AF LIMSAMMENFØJNINGER

Andre typer sammenføjninger

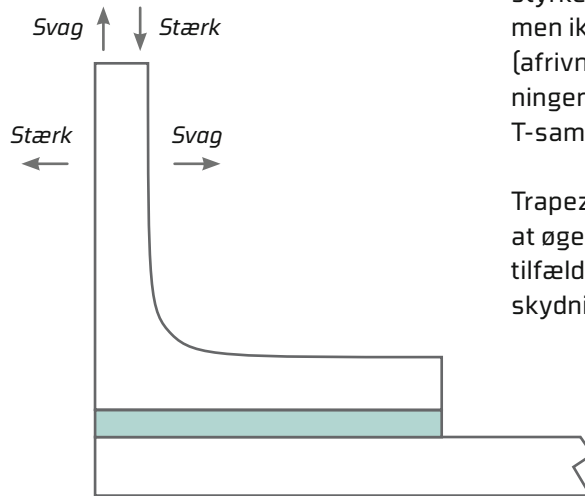
Der findes mange forskellige limsammenføjninger, såsom hjørne-sammenføjninger, T-sammenføjninger og trapez-sammenføjninger, se figur nedenfor.



T-sammenføjninger



Trapez-sammenføjninger



Hjørne-sammenføjninger

For at undgå kløvning og afrivnings-belastninger er det nødvendigt at overveje belastningsbetingelserne for sammenføjningen, f.eks. har hjørne-sammenføjningerne høj styrke i tryk og ved belastninger til venstre, men ikke i træk og ved belastninger til højre (afrivnings-belastninger). Hvis sammenføjningen skal belastes ligeligt i alle retninger, er T-sammenføjningen en bedre løsning.

Trapez-sammenføjninger anvendes oftest for at øge bøjningsstivheden af paneler. I dette tilfælde er limningen primært belastet i forskydningsmode

Styrken af en limningssammenføjning kan i høj grad forbedres ved designændring af kompositkomponenterne, der sammenføjjes. Den følgende sektion beskriver forskellige metoder, hvorpå dette kan gøres for enkelt overlap-sammenføjninger.

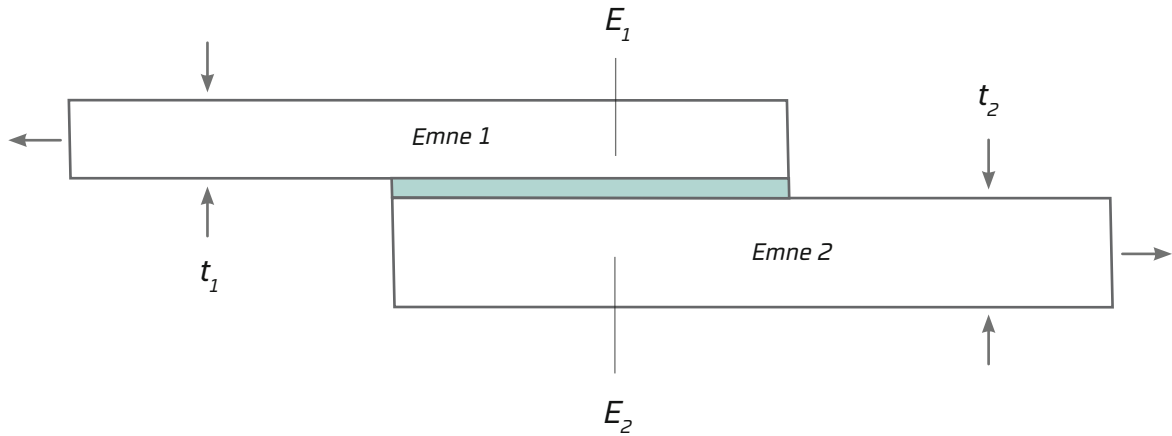
Stivhed

For at fordele belastningen jævnt fra den ene side til den anden af sammenføjningen, skal stivheden af emnerne være så ens som muligt. En enkelt overlap-sammenføjning med to forskellige emner, nummereret '1' og '2', er vist i figuren på næste side.

I dette tilfælde er "stivheden" defineret som tykkelsen multipliceret med E-modulet, derfor:

$$^{(1)} \quad t_1 \times E_1 = t_2 \times E_2$$

Kompositmaterialer er typisk ortotropiske, hvilket betyder, at E-modulet er forskelligt i forskellige retninger. For en enkelt overlap-sammenføjning er det E-modulet i belastningsretningen, som er vigtigt at kende.

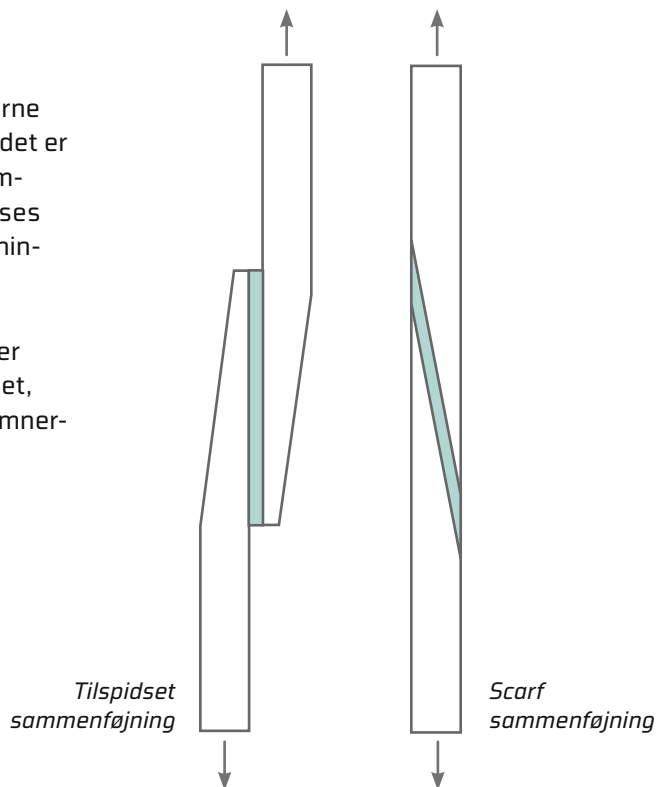


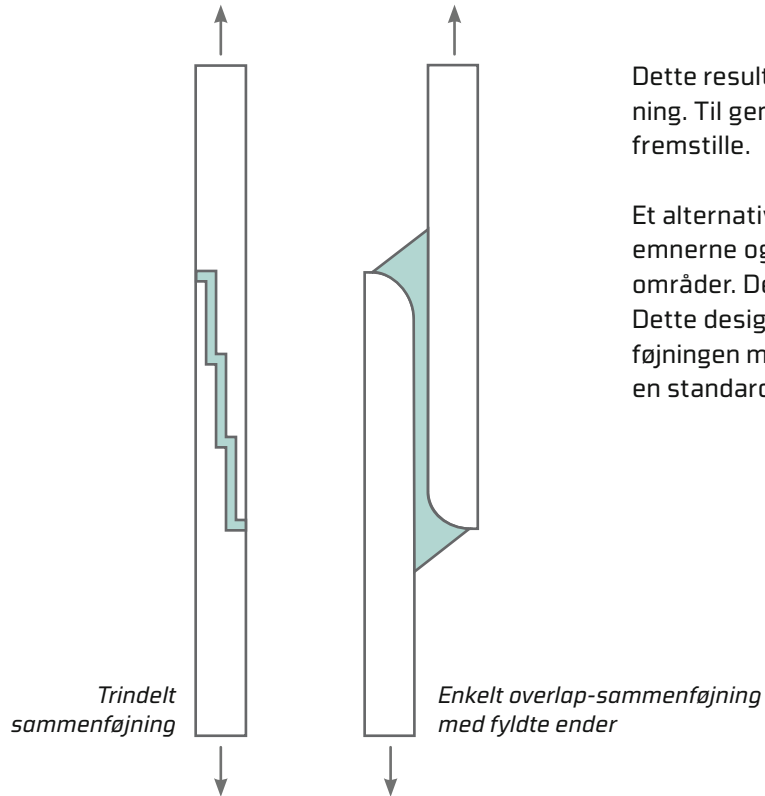
Enkelt overlap-sammenføjning med forskellige emner

Geometri

Spændingskoncentrationer findes i enderne af en enkelt overlap-sammenføjning, og det er her, revnedannelsen vil begynde, når sammenføjningen svigter. Dette kan begrænses ved at tilspidse eller trindele sammenføjningen, som vist i figurene til højre.

Ved *Scarf* og trindelte sammenføjninger er kraften gennem sammenføjningen i planet, hvilket betyder, at bøjningsmomentet i emnerne tilnærmelsesvis er nul.





Dette resulterer i en stærkere sammenføjning. Til gengæld er disse designs sværere at fremstille.

Et alternativ til dette er at runde enderne af emnerne og lade ekstra lim løbe ud til disse områder. Dette er vist i figuren D til venstre. Dette design kan forbedre styrken af sammenføjningen med op til 50%, sammenlignet med en standard enkelt overlap-sammenføjning.

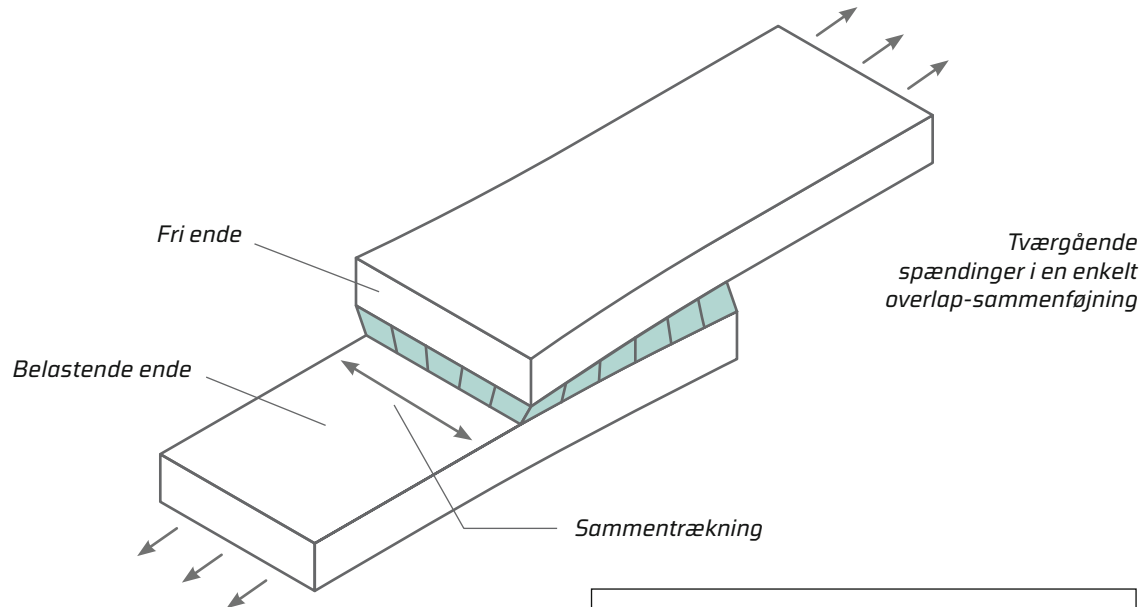
Tværgående styrke

Den tværgående styrke af sammenføjede kompositkomponenter er også en vigtig parameter at overveje i forbindelse med designet. Der findes store tværgående spændinger i sammenføjningen, der kan lede til svigt af sammenføjningen.

Den belastede ende af emnet er udsat for sammentrækninger i bredden og tykkelsen på grund af Possions forhold (se figur på næste side). Dette fænomen forekommer dog ikke ved den frie ende af emnet, idet denne i bund

og grund er ubelastet. Dette giver en forskel i bredden af de to emner, hvilket resulterer i tværgående spændinger i enderne af sammenføjningen.

Et ensrettet fiberlaminat (alle fibre orienteret i den samme retning) har en lav tværgående styrke. Det anbefales derfor, at mindst 5-10% af fiberforstærkningen placeres i 90° i forhold til belastningsretningen. Dette vil øge både stivheden og styrken af kompositkomponenten i den tværgående retning.



90° fiberforstærkning bør ikke placeres direkte tilstødende den bindende overflade, da dette kan resultere i revnedannelse af matrixen i grænsefladen og hermed til et tidligt svigt af sammenføjningen.

Overfladebearbejdning af emnerne, før påføring af limen, er essentiel for at sikre en stærk og holdbar sammenføjning. Ideelt skal bindingen mellem limen og emnerne være stærkere end selve limen. Dette vil sikre, at sammenføjningen enten svigter i emnerne eller i limlaget og ikke i grænsefladen mellem disse.

Slibning, *peel-ply* og plasma er alle egnede overfladebehandlinger til kompositter

Den mest hensigtsmæssige metode for en given sammenføjning afhænger af en række parametre, såsom:

- Størrelsen af emnerne der sammenføjnes
- Måden emnerne er produceret på
- Produktionsmængder
- Hvor kritisk sammenføjningen er

Uanset hvilken metode der anvendes, er det vigtigt, at proceduren er beskrevet og udført af øvede operatører for at sikre en høj reproducerbarhed

Støbeformsslibemidler såsom silikone, organiske fluorforbindelser og vokse er ofte til stede på overfladen af kompositkomponenten efter støbning, hvilket giver et svagt bindingslag.

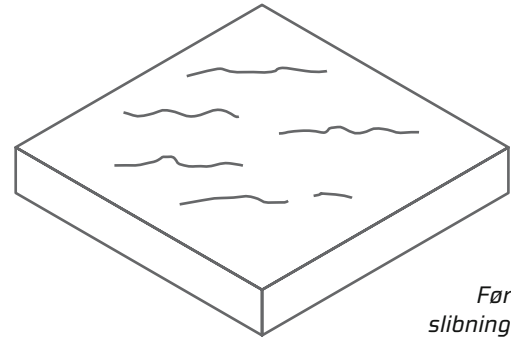
Slibning

Sandpapir eller smergellærred kan anvendes til slibning af overfladen. Der anbefales en kornstørrelse på 80-120, samt at enten sandpapiret eller smergellærredet udskiftes jævnligt for en reproducerbar overfladebehandling.

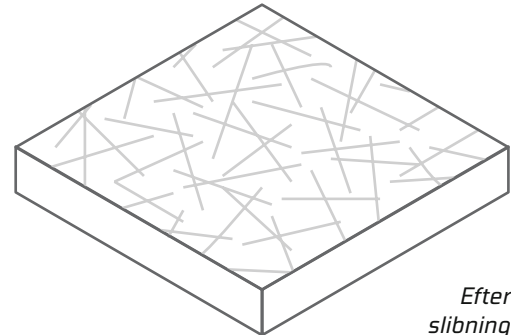
Overfladen skal slibes indtil en betydelig mængde af de underliggende fibre er synlige (se figurer til højre). Dette vil medvirke til at styrke bindingen mellem limen og emnerne samt øge modstandsdygtigheden af sammenføjnngen mod revnedannelse.

Slyngrensning eller sandblæsning kan også anvendes til at slibe overfladen. I dette tilfælde er det vigtigt, at slyng og sand er rene og sikre, at disse ikke forurenes med olie fra luftkompressoren.

Det anbefales at anvende et tyndt lag beskyttelsesfiberlag, såsom CSM (måtte med vilkårlig fiberretning), som placeres tilstødende bindingsoverfladen. Dette vil give en ensartet overflade for bindingen og beskytte de underliggende belastningsbærende fibre.



*Før
slibning*

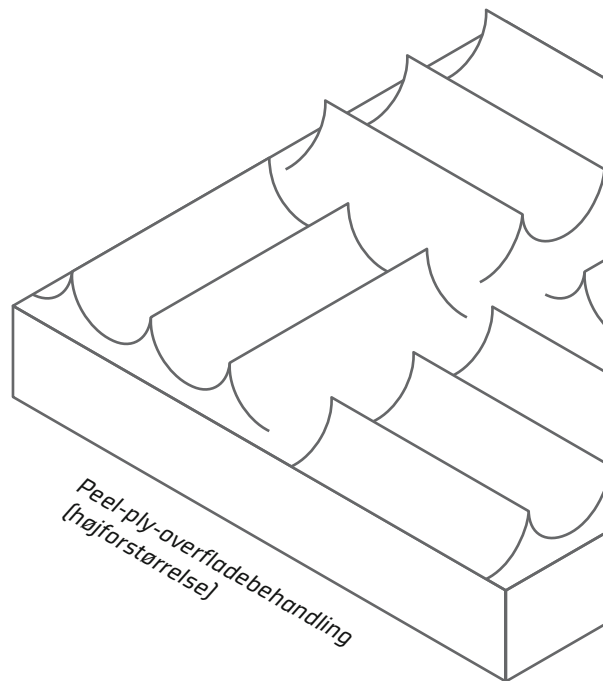


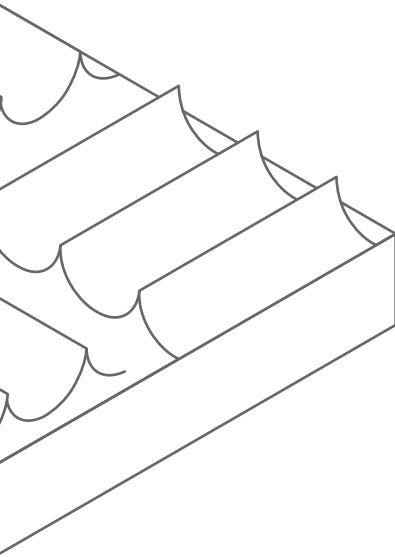
*Efter
slibning*

Peel-ply

Et *peel-ply* er et vævet syntetisk materiale, der ofte anvendes ved produktion af kompositkomponenter ved vakuum-infusion. Dette tillader en hurtig fjernelse af forbrugsmaterialer, såsom fordelingsmedia og vakuumfolie. Ved at fjerne *peel-ply*'et opnås en ru overflade af kompositkomponenten, som vist i figuren.

Limen kan tilføjes direkte på overfladen, og herved er det muligt at drage fordel af den mekaniske vedhæftning, der dannes af peel-ply-strukturen.





Nogle peel-ply-materialer indeholder slip- eller smøremidler for at gøre fjernelsen fra kompositkomponenten nemmere. Disse skal undgås ved ønske om direkte binding til overfladen uden forarbejdning.

Plasma

Grænsefladevedhæftningen kan øges meget ved plasmabehandling af kompositkomponenterne. I denne proces behandles overfladen kortvarigt med en overhededet gas, såsom argon. Dette nedbryder molekylekæderne i overfladen af materialet, og der dannes funktionelle grupper, hvorpå det er muligt at danne en kovalent binding mellem limen og emnerne.

Der er mange fordele ved at anvende plasmabehandling i forhold til slibning, såsom høj reproducerbarhed, hurtigere produktionscyklustider og intet løst materiale på overfladen af komponenten. Hertil kommer, at kovalente bindinger generelt er stærkere end elektrostatiske bindinger (f.eks. binding på en slebet overflade). Yderligere findes der kommercielle, håndholdte apparater, som muliggør behandling af både krumme og plane overflader.

Valg af lim til sammenføjning af kompositmaterialer kan være en kompleks opgave. Leverandører tilbyder hundredvis af forskellige formuleringer, der adresserer forskellige behov, såsom:

- Pris
- Styrke og stivhed
- Brudforlængelse
- Arbejdstemperatur
- Slagfasthed (sejhed)
- Krybe- og udmattelsesstyrke
- Fyldningskapacitet
- Hærdetid

Desværre er valg af limen ikke simpel, og der er ofte flere valgmuligheder til en specifik applikation.

Den hurtigste metode til at identificere mulige limkandidater er ved at kontakte leverandøren og få dennes anbefalinger.

Den følgende sektion indeholder en kort beskrivelse af de forskellige kemiske typer af lim, der normalt anvendes ved fiberforstærket plast.

Epoxy

Epoxybaserede lime er karakteriseret ved høj styrke og stivhed. Brudforlængelsen er relativt lav, og epoxy lime er derfor ikke et optimalt valg ved applikationer, hvor afrivning og slagfasthed er vigtige parametre.

Epoxy er ofte tilgængelig i tokomponent-systemer, der hærdes ved stuetemperatur. Ved nogle formuleringer er det nødvendigt at efterhærde limen (f.eks. ved 80 °C) for at opnå den maksimale styrke.

Methacrylater

Methacrylatbaserede lime giver en kombination af styrke og sejhed. Limen binder til en bred vifte af materialer og kræver en minimal overfladebearbejdning inden påføring. Limsystemet er tilgængeligt både som et- og tokomponent-system.

Polyurethaner

Polyurethanbaserede lime har en høj brudforlængelse og er derfor et oplagt valg i applikationer, hvor afrivning og slagstyrke er vigtig. Typisk har limene lave styrke- og stivhedsværdier og er derfor uegnede til stærkt belastede strukturer.

Fyldningskapaciteten er god og styrkereduktionen i forbindelse med øget tykkelse af limen, er mindre udtalt for denne type end for epoxy-baserede lime. Limsystemet er tilgængeligt både som et- og tokomponent-system.

Vinyl ester

Vinyl ester-lime, også kendt som epoxy vinyl ester, fordi den kemiske sammensætning er en mellemting mellem polyester og epoxy. Materialeegenskaberne er sammenlignelige med epoxy lime, men med den yderligere fordel, at de binder godt til polyester- og vinyl ester-kompositkomponenter. De er billigere end epoxy- og methacrylate-lime og har fremragende fyldningskapacitet.

Limsystemet er oftest tilgængeligt som tokomponent-system, der hærdet ved stuetemperatur.

Limen skal være kompatibel med resinen i kompositkomponenten, f.eks. vil en epoxy-baseret lim binde godt til en kompositkomponent med epoxyresin. For en optimal vedhæftning skal overfladespændingen af limen matche overfladeenergien af emnet.

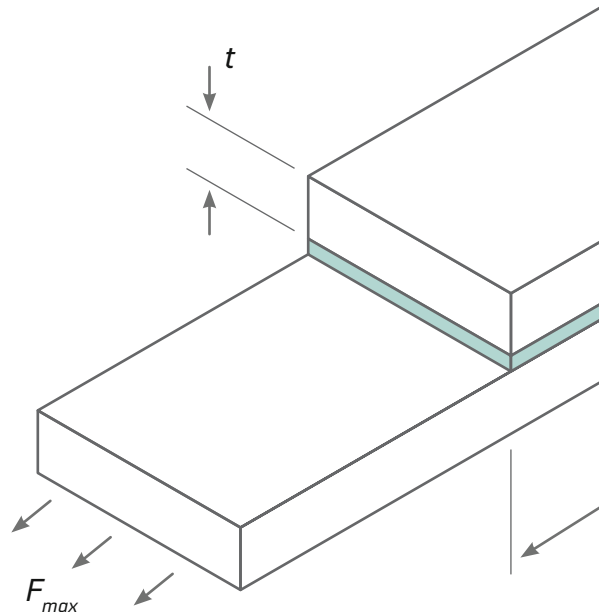
Spændingerne i en limsammenføjning er komplekse, og det er derfor svært med sikkerhed at bestemme styrken af sammenføjningen ved beregninger. Det er dog muligt at foretage nogle simple estimater, som herunder er demonstreret for en enkelt-overlapsammenføjning. Denne metode kan også modificeres til at forudsige styrken af rør- og endestillede-sammenføjninger.

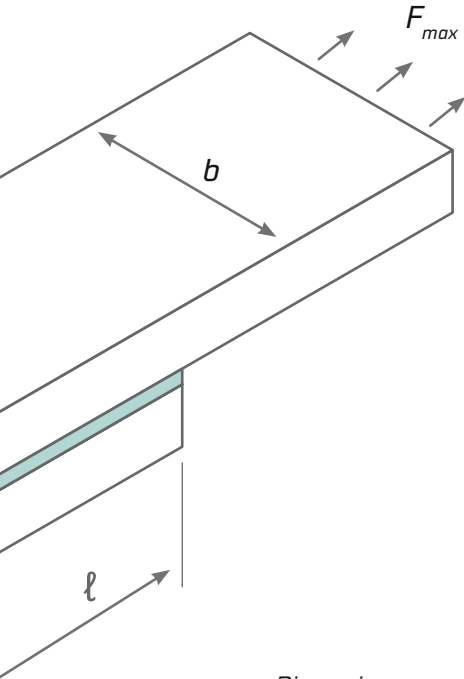
I denne forbindelse skal der gøres opmærksom på, at ved endestillede-sammenføjninger er det trækstyrken af limen, der skal anvendes.

Simpelt estimat for enkelt overlap-sammenføjninger

I denne sektion præsenteres en simplificeret metode til at forudsige den maksimale kraft og nødvendige overlap-længde af en enkelt overlap-sammenføjning.

Nedenstående figur viser en enkelt overlap-sammenføjning med angivelse af kraftpåvirkningen, længden af overlap og dimensionerne af emnerne:





Dimensioner og
kraftpåvirkning af en enkelt
overlap-sammenføjning

Hvis det antages, at begge emner er identiske, vil den maksimale kraft, der kan bæres af et emne, kunne bestemmes fra den følgende formel:

$$^{(2)} \quad F_{max} = \sigma_y \times b \times t$$

σ_y = flydespænding af emnerne

I situationen hvor emnerne er forskellige, anbefales det at beregne F_{max} for hvert emne og anvende den laveste værdi til beregning af sammenføjningsstyrken.

Den maksimale kraft, der kan bæres af en lim i forskydningsmode er bestemt af nedenstående ligning:

$$^{(3)} \quad F_{max} = \tau_u \times b \times l$$

τ_u = brud-forskydningspænding af lim

Det anbefales oftest, at styrken af sammenføjningen er lig styrken af emnerne. I dette tilfælde er $F_{\max}$ værdierne ens, og ligning (2) kan substitueres ind i ligning (3). Overlaplængden kan herefter bestemmes uden at kende bredden eller den maksimale kraft. Ligningen er vist nedenfor:

$$[4] \quad \ell = \frac{\sigma_y}{\tau_u} \times t$$

Hvis der anvendes et lavere overlap end længden beregnet fra ovenstående ligning, er det sandsynligt, at limen vil svigte før emnerne. I dette tilfælde kan den maksimale kraft, der kan bæres af sammenføjningen, bestemmes ved ligning (3).

Det er altid bedre at øge bredden af limsamlingen end længden af overlappet. Styrken af limføjningen skaleres muligvis ikke lineært med overlap længden. Derimod vil en sammenføjning som er dobbelt så bred, være dobbelt så stærk.

Avancerede analysemetoder

For en mere præcis forudsigelse af sammenføjningens styrke, anbefales en *finite element*-beregning, hvor den ikke-lineære opførelse af limen og de ortotropiske egenskaber af emnerne er medtaget. En bedre forståelse af spændingerne i sammenføjningen tillader designeren/ingeniøren at optimere overlap længden og reducere sikkerhedsfaktoren.

Materialeegenskaberne af limen kan reduceres signifikant ved miljøpåvirkninger og driftsbetingelser. Det anbefales derfor at anvende en passende sikkerhedsfaktor, hvor der redegøres for følgende:

- Vandabsorption
- Temperatureffekter
- Cyklisk belastning
- Krybning
- Ældning

Hvis det simple estimat for enkelt overlap-sammenføjninger skal anvendes til bestemmelse af styrken, skal sikkerhedsfaktoren også redegøre for spændingskoncentrationer ved enderne af sammenføjningen og bøjningsmomentet af emner.

Sikkerhedsfaktor

Det anbefales at anvende en sikkerhedsfaktor (F.S.) på mindst 5 og helst 20. Den maksimale designkraft som sammenføjningen kan bære, beregnes ved følgende ligning:

$$[5] \quad F_{design} = \frac{F_{max}}{F.S.}$$

F_{max} er den laveste af de to værdier fra ligning (2) og (3).

Et excel regneark med denne beregningsmetode er tilgængeligt på FORCE Technologys hjemmeside. Regnearket viser grafisk styrken af emnerne og vedhæftning i forhold til overlap længde.



SAMMENFØJNINGSMONTAGE ›

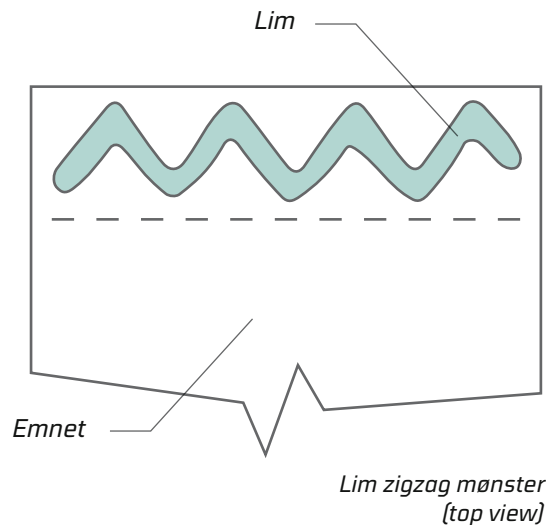
En kvalitetssammenføjning opnås kun ved at kontrollere kvaliteten ved hvert trin i montageprocessen. Nedenfor er listet de vigtigste produktionsparametre for opnåelse af en stærk, pålidelig sammenføjning:

1. Korrekt og ensartet overfladeforberedelse
2. Bindende overflader er rene
3. Temperatur og fugtighed i arbejdsområdet er inden for limens specifikationer
4. Korrekte blandingsforhold af limen
5. Tilstrækkelig sammenblanding af limens komponenter (ved flerkomponent lim)
6. Korrekt anvendelse af limen
7. Arbejdstiden er inden for limens anvendelsestid
8. Komponenterne er forsvarligt fastgjorte
9. Tykkelsen af limen er inden for specifikationer
10. Efterhærdning af limsammenføjning inden for specifikationer (hvis nødvendigt)

Flere af ovenstående punkter er uddybet i de følgende sektioner.

Anvendelse af limen

Limen skal påføres i et så jævnt lag som muligt for at sikre, at hele det bindende område er dækket. 'Limsko' er specielt tilbehør til limdyser, der kan anvendes til at kontrollere højde og bredde af limstrålen, hvilket kan være særlig anvendeligt ved nogle applikationer. Yderligere skal limen applikeres på en sådan måde, at luftbobler så vidt muligt undgås. Luftbobler kan minimeres på brede flanger ved at applikere limen i et zigzag mønster (se figuren til højre).



Fiksering af komponenter ved hærkning

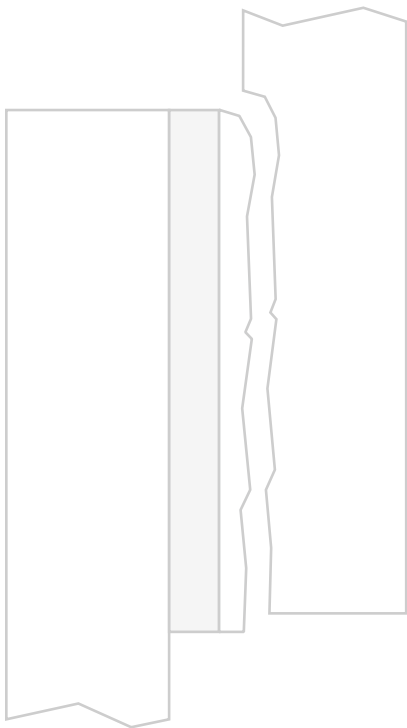
De to komponenter, der limes sammen, skal holdes fastgjorte, mens limen hærder. Dette kan gøres ved at anvende *jigs*, fiksturer, klemmer eller vægte.

I forbindelse med fikseringen af komponenterne under hærkning er det vigtigt, at fastgørelsen ikke er så kraftig, at limen presses ud af sammenføjnningen. Dette kan danne områder i limen, hvor komponenterne er i direkte kontakt (kaldes 'kyssebinding'), der skaber spændingskoncentrationer og hermed reducerer sammenføjningsstyrken.

Tykkelse af limlaget

Tykkelsen af limlaget kan have en signifikant indflydelse på styrken af sammenføjnningen. Den tilladte tykkelse er oftest angivet af leverandøren, og sammenføjnningen bør være inden for denne specifikation for at opnå den angivne forskydningsstyrke.

Afstandsstykker, såsom tynde kabler, kan placeres direkte i limsammenføjnningen for at sikre den korrekte tykkelse af limen. Anvendes der afstandsstykker, er det vigtigt, at disse placeres vinkelret på kanten af sammenføjnningen, så spændingskoncentrationer minimeres.



TEST OG VALIDERING >

Det er vigtigt, at designere/ingeniører udfører simple tests i forbindelse med styrke og pålidelighed af den designede sammenføjning.

Testprøver til enkle overlap-sammenføjninger er nemmere at lave og kan udføres i henhold til teststandarder, såsom *ISO 4587 Adhesives - Determination of tensile lap-shear strength of rigid-to-rigid bonded assemblies*. Disse tests er brugbare til at bestemme, hvor effektiv en overfladeforberedende metode er og til at validere kompatibiliteten mellem limen og resinen i kompositkomponenten. Den optimale løsning er at teste selve den designede sammenføjningskonfiguration.

Dette vil give mulighed for at teste den aktuelle sammenføjningsstyrke og samtidig måle, hvor og hvordan sammenføjningen svigter (se næste afsnit).

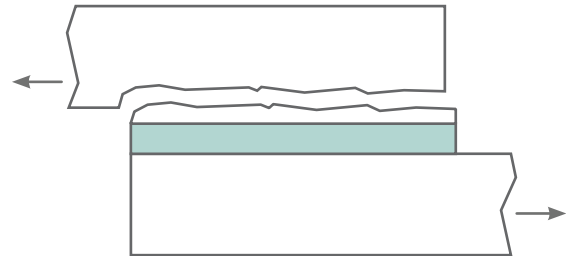
Informationerne fra de udførte tests kan også anvendes til at justere inputparametrene til de mere avancerede beregningsmetoder, såsom finit element-analyse. Dette tillader designeren/ingeniøren at forudsige styrken af en ny sammenføjningskonfiguration med en større sikkerhed.

For kritiske sammenføjninger anbefales det at teste samlingerne under ekstreme betingelser (f.eks. maksimum temperatur og fugtighed).

Det er vigtigt at have kendskab til de forskellige typer af svigt, enten af testprøverne eller af limsammenføjninger af kompositkomponenter i drift. Dette vil give designeren/ingeniøren en bedre forståelse af de forskellige brudtyper og hermed gøre vedkommende i stand til at komme med anbefalinger til, hvordan selve designet eller samlingsprocessen kan forbedres.

Emne brud

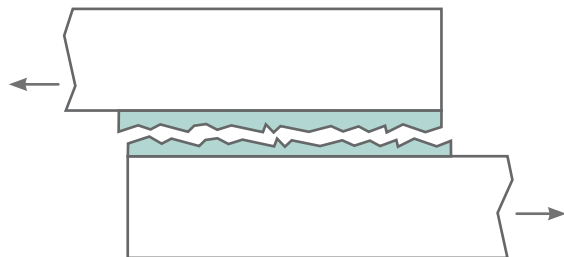
Brud i emnet er oftest det ønskede svigt, idet dette indikerer, at limsammenføjningen ikke er det svageste led i strukturen. Dette forudsætter dog, at emnet ikke svigter grundet design- eller samlingsforglemmelser, såsom tilstødende, tværgående fibre til bindingsoverfladen



Emne brud

Kohæsivt brud

Udtrykket 'kohæsivt brud' anvendes om limsammenføjninger, hvor svigtet er i limlaget. Dette er illustreret nedenfor.



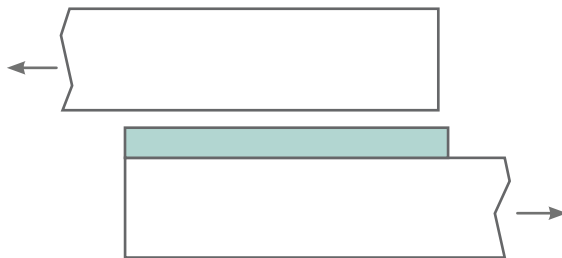
Kohæsivt brud

Kohæsive svigt af limen er i de fleste tilfælde acceptable. De indikerer, at bindingen mellem emnet og limen er god, samtidig med at

styrken af sammenføjningen er bestemt af materialeegenskaberne for limen.

Adhæsivt brud

Udtrykket 'adhæsivt brud' betyder, at limsammenføjningen svigter i grænsefladen mellem limen og emnet (vist nedenfor).



Adhæsivt brud

Et brud af denne type er typisk et udtryk for en eller flere af følgende effekter:

1. Inkompatible overfladespændinger, dvs. elektrostatiske kræfter der frastøder lim og emne fra hinanden. Dette kan enten være forkert valg af lim i forhold til emne, dårlig opblanding ved flerkomponent-lime eller manglende afrensning af emnets overflade inden applicering.
2. En belægning på emnet, som limen binder til i stedet for emnet, eller som giver inkompatible overfladespændinger.
3. Et elastisk klæb, hvor limen er strakt ned i emnets ujævnheder i stedet for at flyde, og kun sidder fast med elektrostatiske kræfter. Et elastisk klæb ved denne type limninger vil ofte være et udtryk for, at limen er begyndt at hærde inden påføringen og derfor ikke flyder som den skal, men kan også være et udtryk for utilstrækkelig opblanding eller forkert temperatur.

Denne type af brud bør undgås til denne type limninger, idet et adhæsivt brud er udtryk for lav afrivings-kraft, dvs. lav vedvarende klæbekraft/bæreevne.

Limguiden er udarbejdet inden for rammerne af Industriens Kompositlaboratorium.

Industriens Kompositlaboratorium (IKL) er et forsknings- og udviklingsprojekt støttet af Styrelsen for Forskning og Innovation. Formålet er at danne en kommerciel platform, der kan sikre fremstillingsindustrien rådgivning og service inden for alle aspekter af avanceret design, beregning, materialeteknologi, produktion og kvalitetskontrol på kompositområdet.



FORCE Technology

Hovedkontor

Park Allé 345
2605 Brøndby
Danmark

Tlf. +45 43 25 00 00
Fax +45 43 25 00 10
info@forcetechnology.dk

forcetechnology.dk