

PRODUKTION AF CARBON / KULFIBER CYKELRAMMER

Hvad er det egentlig og hvordan bygger man med det?

Af Torben Iisager, Carbon-rep.dk



Carbon-rep.dk

Denne artikel henvender sig til cykel-nørder og dem, der vil være det.

Lad os starte med et par myter:

Carbon er 10 gange stærkere end stål - er det virkelig rigtigt?

Ja, et amerikansk forsøg har bevist, at nanomateriale af typen carbon nanotubes faktisk er mere end 100 gange stærkere end stål; det er dobbelt så meget, som forskerne hidtil har antaget. Det er svært at forstå, men den skulle altså være god nok.

Forskningen har gennem mikroskopiske forsøg vist, at såkaldte carbon nanotubes, der ikke fylder mere end 1/50.000 af et menneskehår, er så stærke, at de kan trækkes op til 14% af deres normale længde, før de går i stykker.

Det gør dem langt stærkere end stål og kevlar. På godt dansk betyder det, at nanomaterialet i forholdet mellem vægt og styrke er 30 gange stærkere end kevlar (som bl.a. bliver brugt til skudsikre veste) og op til 117 gange stærkere end stål.

Forestil dig, hvor tyndt stål skulle valsedes ud, for at komme ned på samme vægt som en moderne carbon-ramme. Den ville ikke engang stillestående kunne bære rytterens vægt, selv om man satte sig meget forsigtigt i sadlen.

Hvis carbon virkelig så stærkt, som man påstår, og hvorfor kan det så gå i stykker?

Som det er beskrevet mere indgående senere i artiklen, handler det om fiberretning. Vi kan tage et overrør som eksempel; de fleste kræfter, der her skal overføres, er tryk mellem sadelrør og kronrør, så her lægger man primært fiberretningen på langs, og kan derved nøjes med en relativ tynd godstykkelse. Hen mod samlingerne bliver røret supporteret af fibre i andre retninger. Når et sådant overrør bliver skadet, er det stort set altid ved tryk eller slag fra siden, hvor der ikke. Til sammenligning kan man forestille sig et kosteskaft; hvis det ikke bøjes, kan selv den stærkeste mand ikke trykke det sammen fra den ene ende til den anden. Men et barn kan godt knække det. Med carbonfiber kan man under opbygningen bestemme fiberretning, og dermed styrke/vægt forhold.

Altså: Det kan gå i stykker, fordi man prioriterer lav vægt i forhold til de kræfter, der overføres når man kører - ikke når man styrter...

Et enkelt hul gør vel ikke noget?

Jo, hvis de gennemgående fibre brydes, kan det få katastrofale følger for stabiliteten. Ofte viser en lille overfladisk skade sig at være en stor krakkelering på indersiden. Derfor er det vigtigt at være opmærksom, da konstruktionen med denne skade kan kollapse under almindelig brug. Samtidig udsættes de blottede fibre for fugt, som kan underminere bindingen mellem fibrene - lidt ligesom en spånplade.



Isoleret arbejdsstation til fibertest og slibning med punktudsugning

Reparation af carbonskader

En reparation foregår i et kontrolleret miljø, hvor der tages udgangspunkt i at reetablere den oprindelige fiberstruktur, så fleksibilitet og styrke bliver den samme, som før skaden. Bortset fra, at der ved en reparation først skal slibes ind til den sunde kerne, anvendes samme teknikker, som ved produktion, blot i mindre skala, afhængig af skadens omfang.

Hos Carbon-rep fokuserer vi på, at opnå de bedste resultater ved hjælp af de bedst mulige materialer og afprøvede teknologier.

Det gør os i stand til at yde 1 års garanti på vores carbon reparationer, uanset mærke.

Vi ved nemlig, hvad vi laver...



Kulfiber til cykler

Hvad er det egentlig, vi kører rundt på - og sætter vores lid til?

Når man omtaler kulfiber eller carbonkonstruktioner, handler det i virkeligheden om det materiale, der armerer andre materialer. Kulfibrene er altså den struktur, der gør et omkringliggende materiale (harpiks-komposit) stærkt. På samme måde som når man armerer beton med stål. Beton er hårdt og stærk alene, men indeholder ikke lange bindende fibre, så det vil nemt sprække, krakelere og knække ved belastning.

Kulfibrene danner altså en struktur - retningsbestemt eller stokastisk - hvormed det er muligt at opbygge former af kompositmaterialer, der får høj styrke i forhold til vægt, sammenlignet med de fleste andre materialer.



27 1/2" baggaffel specialfremstillet hos Carbon-rep for Vega Cykler, Hillerød.

Det er vigtigt at bemærke, at sport - og det gælder alle sportsgrene samlet set - kun repræsenterer ca. 20% af det samlede kulfiber forbrug, hvoraf cykeldele formentlig kun udgør 5% af det globale forbrug af kulfiber. Kulfibermaterialer og associerede harpikser, som cykleindustrien bruger, er oprindeligt udviklet til en helt anden sektor, nemlig rumfart. Mange forskellige områder, hvor man ønsker stor styrke og lav vægt har efterfølgende taget det til sig, hver på deres egne præmisser.

Der findes idag ingen cykel specifikke kulfibermaterialer eller harpikser, på trods af hvad nogle mere fantasifulde marketingmaterialer påstår.

Kulfibers anvendelse i cykelindustrien

Stort set al fabrikation af carbon-komponenter til forskellige cykelmærker bliver fremstillet i Kina og Taiwan af en eller flere fabrikker. Disse fabrikker har materiale- og kompositingeniører ansat til at finde produktionsløsninger på baggrund af idéer og fra alverdens cykelmærker. Fordelen ved dette er, at al viden og erfaring hele tiden bliver opdateret, finjusteret og akkumuleret på tværs af sortimentet.

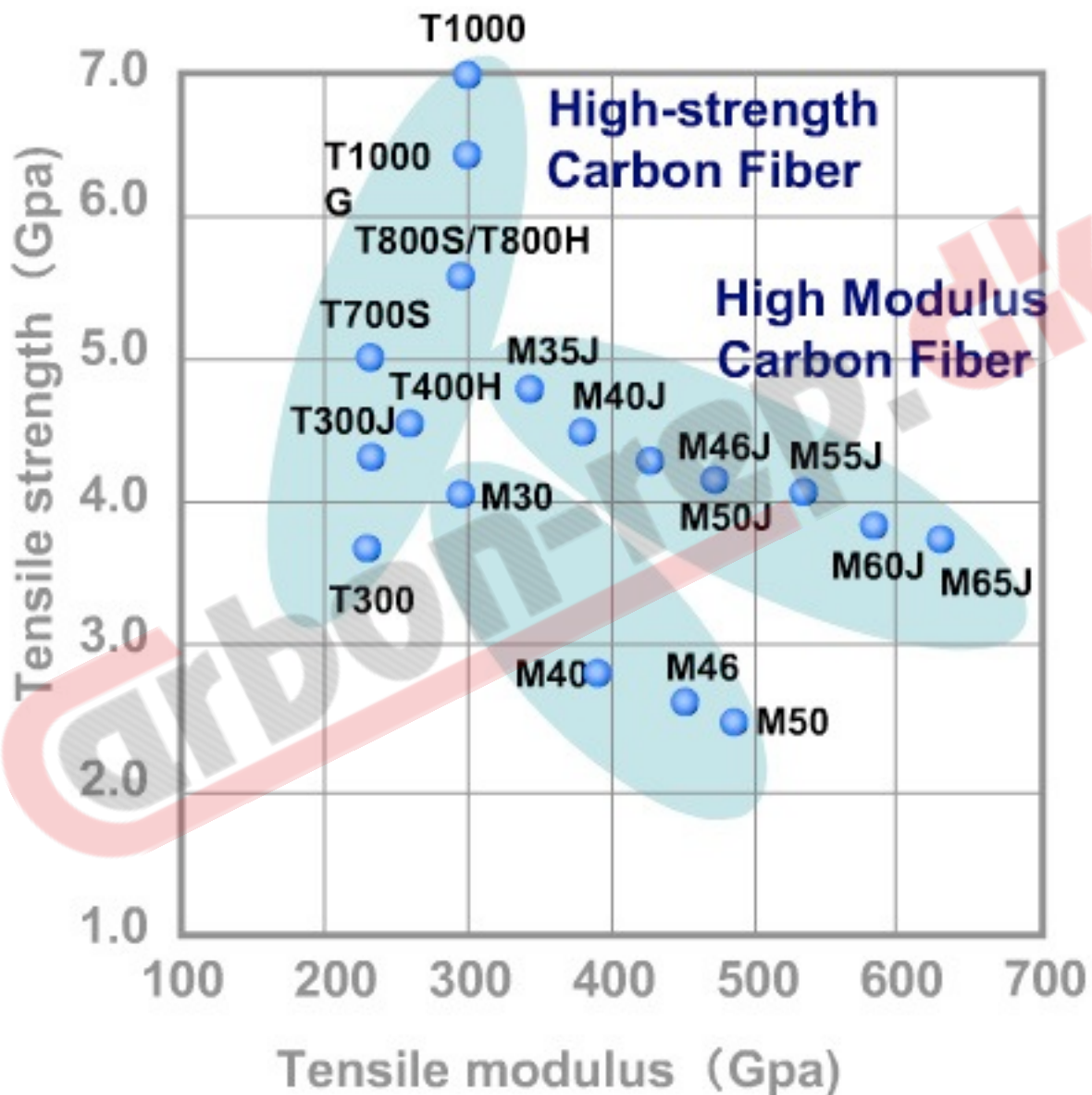
Det færdige carbonprodukt, som slutbrugeren kender det, er en komposit, altså en kemisk kombination af flere materialer, i dette tilfælde carbonfiber og harpiks (som igen er en kemisk sammensætning, der gør det muligt at styre hærdningsprocessen i forhold til den enkelte opbygning).



Vævede fibermåtter

Udgangspunktet for produktionen er vævede fibermåtter, som uden yderligere behandling er utroligt sårbare, og falder fra hinanden ved den mindste berøring. For at kunne håndtere trådene under produktion, laves en præ-imprægnering, også kaldet prepreg. Trådene bliver i denne process mættet med harpiks uden hærdere, så de klister sammen. Allerede på dette niveau afhænger harpiksmængden af, hvilken karakter og slutanvendelse der ønskes.

Cykel komponenter - specifikt cykelstel - fremstilles under anvendelse af forskellige kvaliteter af carbon fiber, som hver især primært kendetegnes ved deres trækstyrke og elasticitet: Trækstyrke er den mængde kraft der er nødvendig for at forårsage brud i fibrene, medens elasticitetsevne er et mål for carbonfiberens stivhed. Prisen på materialerne går almindeligvis op med stigningen i trækstyrke, eller stigning i elasticitet (trækspænding). Vævemønsteret har også indflydelse på omkostningerne, da nogle vævninger (for eksempel 12k) koster mindre på grund af den lavere fremstillingspris. Nedenstående figur viser nogle grundlæggende karakteristika ved en vifte af kulfiber prepreg, og illustrerer, hvordan der bruges flere lag med forskellige strukturer og fiberretninger, som tilsammen giver en høj ydeevne, og sikre og holdbare cykelstel.



Fibrenes styrke

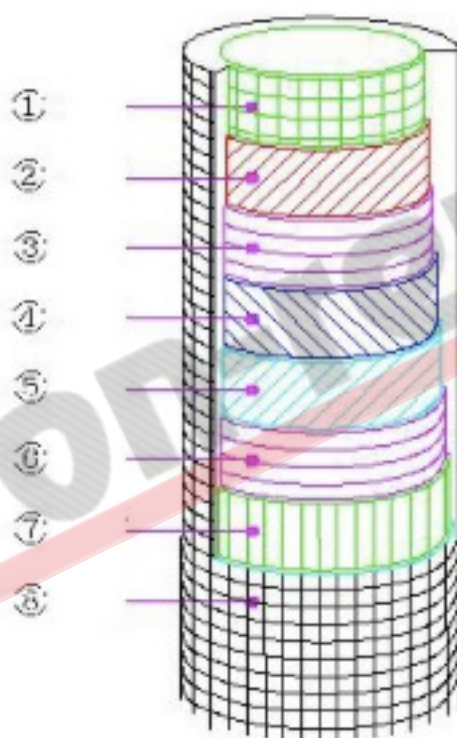
Det fremgår herover, hvordan styrke og elasticitet næsten er omvendt proportional, sådan at når fibre bliver stærkere i spænding og modstandsdygtige over for brud, bliver de mindre stive. Ved fremstilling af cykelstel betyder dette, at med de teknikker man kender idag, er det ikke muligt at konstruere en usædvanlig let carbon-komposit ramme (under ca. 850g), som er stiv nok til at overføre kræfterne fra krankboks til hjul og samtidig modstandsdygtig overfor spontan revnedannelse og skader.

I praksis er alle rammer fremstillet med en teknik der primært har længdegående fibre, kombineret med flere lag (layup) af varierende carbonfiber-vævninger i bestemte områder af hver ramme, for at opnå den ønskede stivhed, vægt og holdbarhed. Disse vævninger lægges på som en slags plastre, og varierer også efter stelstørrelse og design. Så samme ramme i forskellige størrelser, har ikke nødvendigvis identisk strukturel opbygning.

Det er altså muligt at gøre hele rammen, eller dele af den stivere og samtidig bibeholde den ønskede form, blot ved at ændre fiberretning og antal af tråde. Der er ikke behov for at

foretage strukturelle ændringer. Til gengæld er beregningerne af alle disse varianter med til at øge udviklingsomkostningerne.

Det helt unikke ved materialet er, at strukturen med den rette teknik kan genskabes efter skader. Ved reparation af flækkede, knækkede eller sågar knuste emner, kan forholdet mellem styrke, fleksibilitet og vægt således reetableres. Afhængig af hvor på emnet skaden er opstået, sker dette i nogle tilfælde ved at vælge andre vævninger, eller sågar en stokastisk struktur, for at kunne kombinere fiberretningerne i brudfladen.

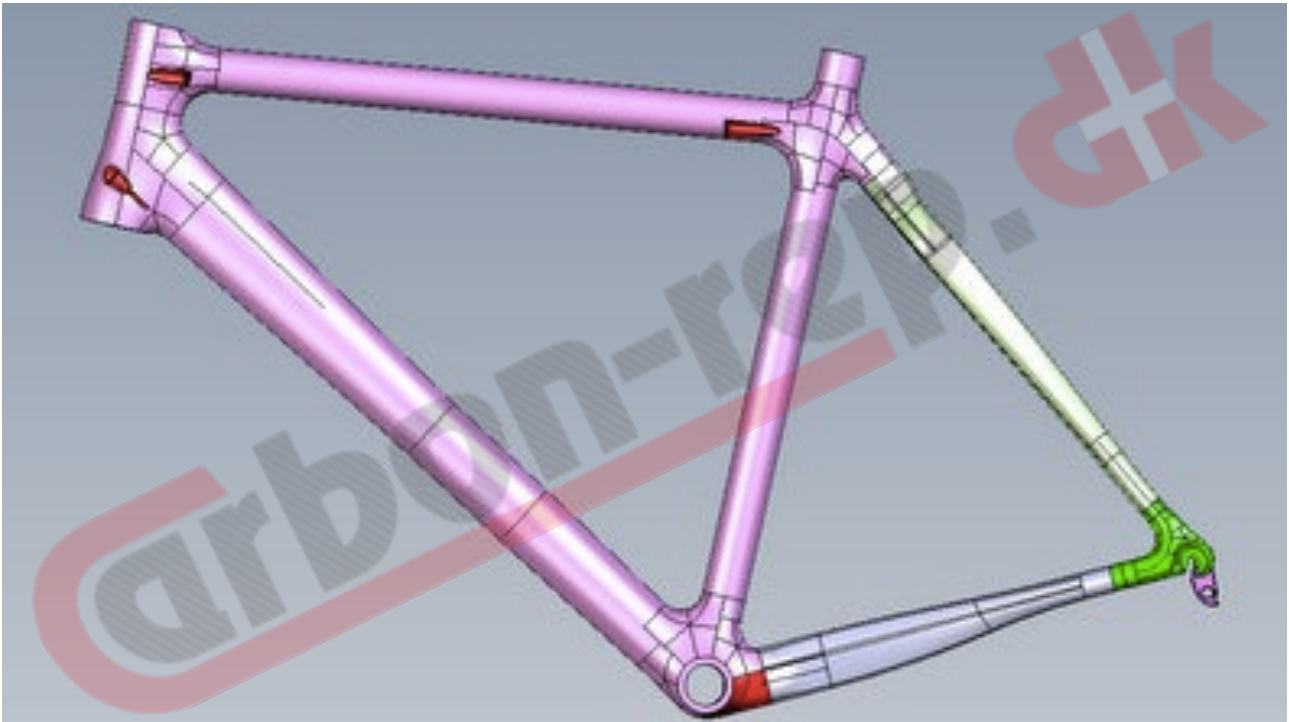


Layup - måden at få fibrene til at arbejde sammen på

Dette er et eksempel på et teknisk layup med placering, kulfiber kvalitet og orientering (f.eks 0 grader, 45 grader, 90 grader). Der er otte lag i alt ved hjælp af tre forskellige typer af carbonfibre. Denne kombination er optimeret til at håndtere specifikke retningsbestemte belastninger, der virker på rammen.

Ud fra den foregående forklaring, burde det være ligetil: "Flere lag med hver sin fiberretning giver den optimale styrke", men så simpelt er det desværre ikke, for så vil der visse steder i konstruktionen være fibre, der ikke påvirkes i den rigtige retning. Derfor kombineres disse med uni-directionale fibre, altså "måtter" hvor der kun er enkelte tråde der styrer langsgående fiberkoncentrationer. Lidt ligesom vores egne muskler. Disse strukturer (f.eks 1k, 3k, 12k) skaber stærkere rammer.

Ud over at få større koncentrationer af fibre i samme retning, undgår man også at fibre bøjer ind over hinanden. Ved mange konstruktioner er de vævede fibre kun anvendt i top-laget, for at få en ensartet og sammenhængende struktur og udseende. Alle indre vævninger er primært langsgående.



Eksempel på håndtering af torsionskræfterne i krank, sadelrør, kronrør og hjulbøsninger ved at kombinere og ændre fiberretninger, afhængig af, hvordan kræfterne skal fordeles eller optages.

I visse vridningszoner kan det yderligere være fordelagtigt, at tilføje stokastiske strukturer, hvor fiberretningerne danner en slags uensartet gitterkonstruktion, ligesom kernen i vores egne knogler.

Den synlige struktur er altså ikke nødvendigvis lig med den generelle fibertype i konstruktionen.

Fremstillingsproces

Komposit rammer med carbonfiber kan overordnet fremstilles under anvendelse af de følgende metoder, som kan kombineres med hinanden, for at opnå optimale løsninger:

Rør-til-rør (Resin transfer (RTM)), en individuel metode, hvor præformede kulfiberrør bliver forbundet via støbte fittings, eller interne/eksterne opbygninger af carbonfiber komposit. Dette var den oprindelige metode til carbon ramme fremstilling og er en direkte efterkommer af den rammekonstruktion, der anvendes til stålrammer. Rammerne kan tilbyde høj ydeevne, men de vigtigste årsager er nemme brugerdefinerede ændringer i geometri og lavere produktionsomkostninger, selv ved små produktioner. Rørene er sædvanligvis fremstillet via en RTM eller filamentvikling proces, hvor kulfibermåtter vikles omkring en fast dorn (sædvanligvis stål eller en legering). Ved RTM-processen, påføres harpiks separat, dvs. ikke ved hjælp af en prepreg, medens fiberviklet rør anvender harpiks imprægneret carbonfilamenter. Disse processer er i høj grad automatiseret.

Ved rør-til-rør konstruktion, kan man også "svejse" rørene sammen. Formstøbte rør og former er bundet til hinanden ved hjælp af carbon fiber og harpiks. Leddene holdes her på plads ved hjælp af specielle miniformer, og rammen er derefter enten bagt i ovn, eller i nogle tilfælde mindre varmeelementer for hver form. Samlingerne er således termohærdede og opnår fremragende styrke, sammenlignet med andre kulfiber strukturer. Termohærdning er anderledes end limning ved, at en sammenhængende carbonfiberkomposit dannes.



Præformede kulfiberrør bliver forbundet via støbte fittings

Denne fremgangsmåde er egnet til masseproduktion, og har sammenlignelig ydelse til monocoque konstruktion. Rør-til-rør rammer er mere begrænset i deres form og rør-profiler, da nogle samlinger kræver overdreven brug af stokastisk komposit-masse, eller fyldstof for at udglatte leddene.

Lukket emne ved hjælp af støbeform, (monocoque konstruktion) med skumkerne, oppustet ballon-kerne, eller fast kerne.

Denne metode bruges til at konstruere de såkaldte monocoque rammer samt samlelementer til rør-til-rør rammer.

Monocoque er betegnelsen for et emne, som bliver fremstillet i ét sammenhængende stykke. Disse rammer har ingen ydelsesmæssige fordele i forhold til rør-til-rør, men giver flere designmæssige muligheder og mere ensartet overflade.

Emnet er lagt op i en to- eller flerdelt støbeform. Der er derfor ingen rør, men kun hule carbon figurer til at give styrke. Monocoque konstruktion metode er den bedste metode til at arbejde med alternative former, fordi carbon fibrene kan lægges op nøjagtigt som

ønsket, så enhver form og ydeevneparameter kan opnås ved kombination af layup i forhold til formens facon.



Støbeform til forreste sektion af cykelramme

Der er ingen ydre faktorer, der påvirker den endelige udformning og ydeevne. Dog er der en begrænsning for, hvor små former, der kan håndteres, da teknikken kræver en ensartet kompression af materialet under processen skabt ved overtryk eller vacuum. Der findes flere metoder til at sikre, at de forskellige lag er pakket tæt sammen. Dette opnås generelt ved at indsætte fx luftblærer og derefter oppuste dem, når rammen er placeret i formen, før bagning.

Ulempen ved luftblære-fremgangsmåden er, at på grund af det relativt lave påførte tryk og den komplekse form, opstår der rynker og hulrum, hvor luften bliver fanget mellem lagene, hvilket gør rammen svagere. Efterfølgende skal kompressionsmaterialet (metaldorn, skum, silikone eller luftblære) kunne fjernes efter bagning.

Dette gør, at det trods navnet i praksis ikke er muligt at fabrikere hele rammen i ét stykke. Derfor bliver stort set alle monocoque rammer på markedet faktisk lavet af flere dele. Oftest bruges monocoque metoden således til produktion af de dele, som efterfølgende bliver sammensat; den forreste trekant (kronrør, overrør, skrårør og sadelrør) støbt i et stykke, hvorpå den bageste trekant er fastgjort (sadelrør, krank, hjulfittings) under anvendelse af den bundne rør-metode, og derefter bagt sammen for at skabe en kontinuerlig form.

Det største minus ved denne process er, at støbeformene er temmelig omkostningstunge, så der er her kun tale om masseproduktion, og altså ingen mulighed for individuel tilpasning.

Efterbehandling og afprøvning

Efter afkøling, bliver rammen fjernet fra formen. En manuel efterbehandling af rammen fjerner release forbindelsen (forhindrer rammen i at klæbe til formen), og overskydende harpiks i sømmen, hvor den øverste og nederste halvdel af formen mødes. Dette kan observeres som svage matte linjer på en umalet ramme.



Manuel montering af metalfittings

Efter yderligere et par manuelle færdiggørelsesprocesser, kommer rammerne til malerværkstedet, hvor navn, stafferinger, maling og klar lak påføres.

Kvalitetskontrol

En lang checkliste med fx vægt, mekaniske grænsefladen (krank, dropøje, headset, osv) gennemgås for hvert produkt inden afsendelse fra fabrikken.

Så næste gang du står med et carboncykel er der lidt at tænke over. Det er ikke "bare" en cykel, men et fantastisk udviklingsarbejde, og for hver produktion, er der stadig noget at lære...