

Optisk fiberkabel

Föreliggande uppfinning avser en anordning för övervakning av prestanda hos en optisk högeffekt-fiberkabel, i synnerhet en optisk fiberkabel gjord för överföring av effektnivåer upp till och överstigande 20 kW. Generellt sett har den optiska fiberkabeln en ingångsände för en infallande ljusstråle och en utgångsände där ljusstrålen lämnar den optiska fibern, och varvid åtminstone en av ändarna är försedd med en anslutningsanordning med sensorer för övervakning av den optiska fiberkabelns status.

Optiska fibrer för överföring av hög optisk effekt används ofta i industriella applikationer. Specifikt används de i svetsande och skärande bearbetning med hjälp av den höga laserstrålningseffekten, men även i andra industriella tillämpningar såsom uppvärmning, detektering och arbete vid höga temperaturer kan denna typ av optiska fibrer användas. Med hjälp av de optiska fibrerna är det möjligt att utforma flexibla tillverkningssystem för överföring av laserstrålen från högeffektlaserkällan till arbetsstycket. En optisk fiber har typiskt en inre glaskärna och ett transparent, omgivande skikt, en så kallad mantel, som har ett lägre brytningsindex än kärnan. Funktionen hos manteln är att hålla den optiska strålen begränsad till kärnan.

Under en lång tid var CO₂-lasrar den största aktören på marknaden för industriella högeffektlasrar. Men i inledningen av 90-talet började Nd:YAG-lasrar ta vid som ett verktyg för högeffektillämpningar och utveckling av fiberoptisk teknik för dessa typer av lasrar har blivit ett hett ämne.

Vid utformningen fiberoptiska system för högeffektlaserstrålning är det viktigt att fibern inte skadas på något sätt eftersom strålningen från en "läckande" eller skadad fiber kan orsaka allvarliga personskador. Därför är det tidigare känt att kontrollera status hos fibern med hjälp av specifika övervakningssystem. Se till exempel US 4,812,641, DE 4032967, DE 3246290, DE 3031589 och US 5,497,442.

30

Det är emellertid viktigt att detektera skador på den optiska fibern inte bara av säkerhetsskäl, utan också för att förhindra sekundär skada i andra delar av systemet på grund av nämnda skada eller brister i fibern.

En svaghet i de övervakningssystem som avses ovan är det faktum att skadan upptäcks för sent. När strålningen från den skadade fibern detekteras, kan sekundär skada i det optiska systemet redan ha inträffat.

- 5 I WO 03/016854 beskrivs en anordning i vilken en detektor för avläsning av väsentligen radiellt spridd strålning från infallande optisk strålning är anordnad i förbindelse med ingångs- och/eller utgångsdelen av fibern. Om denna i huvudsak radiellt spridda strålningen överskrider en viss nivå kan detta användas som en indikation på en skada i ingångs- och/eller utgångszonen av fibern. Detektorn är anordnad i anslutning till eller på ett avstånd från
- 10 ingångs- eller utgångsändan av fibern och den radiellt spridda strålningen är sedan anordnad att sändas till detektorn via optik.

- I industriella tillämpningar som använder högbriljanslasrar på effektnivåer upp till och över 20 kW och på liknande sätt diodlasrar som överstiger 10 kW, finns det en ökande efterfrågan
- 15 att kontinuerligt övervaka komponentstatus även i passiva komponenter såsom fiberoptiska kablar. Med fiberoptiska kablar designade enligt den europeiska bilindustrins standardfibergränssnitt finns det en efterfrågan på att övervaka och hantera extrema nivåer av effektförluster. Det finns också ett behov att tillhandahålla en mer robust och flexibel fiberkontakt utan att ha detektorer och optik anordnade på ett avstånd från ingångs- eller
- 20 utgångsändan av fibern såsom beskrivs i WO 03/016854.

Det är ett ändamål med föreliggande uppfinning att tillhandahålla ett mycket snabbt och pålitligt sensorsystem för övervakning av laserprestanda.

- 25 Enligt uppfinningen är sensorerna placerade inuti kopplingsanordningen och arrangerade för att övervaka laserbearbetningsprocessen under pågående process samt att kunna detektera särskilda tillstånd inne i kopplingsanordningen, såsom spritt ljus, temperaturer eller liknande, och varvid sensorerna är anslutna till ett fiberblockeringssystem för att kunna aktivera en blockering när uppmätta signaler är högre än givna tröskelvärden. Tröskelnivåerna kan då
- 30 sättas till absoluta eller differentierade värden.

Enligt en föredragen utföringsform av uppfinningen är sensorerna anslutna till fiberblockeringssystemet i en sluten krets.

I det följande kommer uppfinningen att beskrivas mer i detalj med hänvisning till de bifogade ritningarna på vilka

Figur 1 schematiskt visar en modell av in- och utgående fiberoptiska kontaktdon med sensorer
5 enligt uppfinningen,

Figur 2 illustrerar en optisk fiberdesign med glaskapillär och modstripper,

Figur 3 illustrerar en optisk fiber design med glaskapillär, modstripper och glascylinder,
10 företrädesvis en glascylinder gjord av kvarts,

Figur 4 illustrerar en optisk fiberdesign med kylvatten inuti kontakten, och

Figur 5 illustrerar en optisk fiberdesign där glascylindern separerar ljuset i olika våglängder.
15

Figur 1 illustrerar schematiskt en modell av ingångsänden 1 och utgångsänden 2 av en optisk
fiber 3. Den optiska fibern 3 är försedd med en ingångskontakt 4 vid ingångsänden 1 och en
utgångskontakt 5 vid utgångsänden 2. Den optiska fibern 3 i sig har en konventionell
utformning med en kärna, till exempel av kvartsglas, och en omgivande mantel med ett lägre
20 brytningsindex än glaskärnan, till exempel gjord av glas eller någon polymer med lämpligt
brytningsindex. Funktionen hos manteln är att hålla strålningen begränsad till kärnan så att
strålningen överförs genom fibern i dess längsgående riktning tills den lämnar fibern vid
utgångsänden 2.

25 Kärnan och manteln är de optiskt aktiva delarna av fibern. Utanför manteln finns ytterligare
skikt anordnade i form av ett buffertskikt och en jacka 6 för att öka den mekaniska
hållfastheten hos fibern. Det vanligaste buffertmaterialet är ett silikongummiliknande
material. För den mekaniska hållfastheten är det viktigt att buffertskiktet fäster ordentligt på
mantelytan. Materialet i jackan kan vara t ex akrylat, nylon eller Tefzel, ett teflonliknande
30 material. Arrangemanget med kärna, mantel, buffert och jacka är kända i sig och kommer inte
att beskrivas i detalj här.

För att möta kraven på ett allmänt fibergränssnitt, definierat av den europeiska bilindustrin,
har ingångskontakten 4 en yttre utformning anpassad för att ansluta fibern till laserkällan och

utgångskontakten 5 en yttre design anpassad till tillverkningsgränssnittet. När det gäller den inre designen av fiberkontakter av denna typ hänvisas till EP 0619508, EP 1982221, EP 2162774 och EP 2191311, som illustrerar glascylindrar av kvarts i båda fiberändar för minimala effektförluster och intern vattenkylning som effektivt absorberar tillbaka-reflekterat ljus från arbetsstycket.

Den infallande laserstrålen 7 i framåtriktningen fokuseras på ändytan av fiberns ingångsände 1 medelst optik i form av en lins 8 eller speglar. Den utgående strålen 9 vid utgångsändan av fibern fokuseras medelst en lämplig optisk lins och spegel-system 10 på arbetsstycket 11 för industriell laserbearbetning. Laserkällan som används för denna typ av industriell laserbearbetning är typiskt en halvledarlaser, såsom en fiberlaser, skivlaser, eller Nd:YAG-laser för vilka optiska fibrer kan användas. Gemensamt för dessa typer av lasrar är den höga optiska effekten som kan orsaka skador på personal samt skador på det optiska systemet om strålningen inte korrekt överförs genom fibern. Även ett litet fel i fibern kan bli kritiskt och orsaka allvarliga personskador så väl som materialskador.

Den del av fibern som är mest utsatt för strålning är ingångs- eller utgångsändan och därför är det ofta här som skador uppstår. En skada i denna del ger upphov till spridd strålning också i en mer eller mindre radiell riktning från fibern. I figur 1 illustreras tillbaka-reflekterat ljus (processljus) 12 från laser processen vid fiberns utgångsände. Figuren illustrerar även spridd strålning i form av strålljus eller processljus 13 som lämnar fibern genom manteln och jackan vars strålning detekteras av sensorer 14, vilka kommer att beskrivas ytterligare nedan.

Såsom redan nämnts kan fiberns kontaktdon 4,5 utformas för minimala effektförluster och förses med inre vattenkylning som effektivt absorberar tillbaka-reflekterat ljus från arbetsstycket 11. Som redan nämnts i den inledande delen är det också tidigare känt att anordna en fotodetektor för att känna av spridd strålning för att undvika skador, se WO 03/016854. Det är omtalat i nämnda WO-publikation att detektorn kan anordnas att känna av strålningen direkt eller indirekt med hjälp av en genomskinlig spridare. Det nämns även här att fotodetektorn företrädesvis är anordnad i anslutning till ingångsdelen av fibern, eller anordnad på ett visst avstånd från denna ände.

Det finns dock ett behov av en snabbare, noggrannare och mer tillförlitlig övervakning av komponentstatus i de fiberoptiska kablarna när extrema nivåer av effektförluster kan uppstå.

Det finns också ett behov att tillhandahålla en mer robust och flexibel koppling utan detektorer och optik anordnade på ett avstånd från ingångs- eller utgångsändan av fibern såsom beskrivs i WO 03/016854.

5 Enligt uppfinningen är sensorerna 14 belägna inuti och företrädesvis i den bakre delen av kopplingsanordningen och arrangerade för att övervaka laserbearbetningsprocessen under gång samt för detektering av specifika förhållanden inom anslutningsanordningen, såsom spritt ljus, temperaturer eller liknande, och varvid sensorerna är anslutna till ett fiberblockeringssystem för att aktivera en blockering när uppmätta signaler är högre än
10 specifika tröskelnivåer. Specifikt innebär det att de integrerade sensorerna 14 är anordnade för att avkänna det spridda ljuset som lämnar fibern huvudsakligen i den radiella riktningen. Sensorerna är sedan arrangerade för känna av strålljus, vilket är laserstrålen som går från laserkällan mot bearbetningsprocessen, samt processljus, vilket är ljuset som skickas tillbaka från bearbetningsprocessen. Strålljuset består endast av våglängden på det ljus som skickas ut
15 av laserkällan, medan processljuset från bearbetningsprocessen består inte bara av reflektioner från laserstrålen mot delar i processen, utan också av alla andra våglängder som uppstår beroende på det använda materialet i bearbetningsprocessen och hur processen utförs.

Beroende på det mekaniska gränssnittet runt den optiska fibern är det möjligt att använda den
20 lilla mängden ljus som lämnar den optiska fibern för säkerhetsövervakning och processtyrning. Laserljuset som används för materialbearbetning går i riktning framåt. Ljuset från själva processen går i baklänges riktning och kan detekteras av sensorerna 14 genom manteln- och buffertskikten och genom jackan. Sensorerna är företrädesvis belägna i den bakre delen av den optiska kontakten, vilket är en perfekt plats att sätta sensorerna. Genom att
25 sätta sensorerna här är de väl skyddade från damm och från andra effekter runt processen. Noggrannheten och tillförlitligheten kommer att bestå och när fibrer byts kommer man lätt åt samma signal med viss offset.

Som redan nämnts kan signalerna till sensorerna antingen komma från ljusstrålen i riktning
30 framåt, eller från ljusstrålen och processljuset som reflekteras tillbaka från bearbetningsprocessen. För att skilja mellan ljusstråle i framåtriktningen och ljusstråle i tillbaka-reflekterad riktning, kan de två kontaktdonen användas tillsammans. Den tillbaka-reflekterade strålens ljus syns i båda kontakterna, men kommer att vara starkare inuti utgångssidans kontakt 4.

Ljusstrålen, vilket är ljuset i riktning framåt, kan användas för att övervaka att strålen går in i fibern och genom att använda signalen från sensorerna 14 rikta in fibern korrekt. Processljuset kan användas för att övervaka processen och tillämpningen. Genom att observera processljuset med hjälp av sensorerna är det möjligt att kvalificera processen eller för att göra justeringar i processen.

Sensororganet 14 innefattar i detta fall tre separata fotodiodsensorer; en IR-ljussensor 15, en RGB-ljussensor 16 samt en UV-ljussensor 17, dioder av en typ som är lämplig för att detektera spritt ljus. Denna typ av ljussensorer reagerar på spritt ljus, vilket gör dem till de snabbaste av sensorerna. Detekterar sensorerna en ökad mängd av ljus inuti kontakten är det en indikation på ett fiberfel. Sensorerna ser rätt på den optiska fibern. Genom att använda ljus, med den snabba reaktionen hos ljussensorerna, blir det ett värdefullt verktyg för att undvika ytterligare skador i lasersystemet. Det är även möjligt att använda sensorn eller sensorvärdena som en hjälp vid inriktning av fibern till en FCU (Fiberkopplingsenhet).

Företrädesvis arrangeras också en absoluttemperaturgivare 18 (T) och fuktgivare 19 (humidity – H) inuti fiberkontakten. En absoluttemperaturgivare inuti anslutningsanordningen mäter den absoluta temperaturen i fiberkontakten. Den avsedda användningen är att övervaka den absoluta temperaturen. Den är en god indikation på den långsiktiga stabiliteten hos fibern. En integrerad Delta-T-sensor mäter skillnaden i temperatur mellan inkommande och utgående kylvatten, se figurerna 4-5 nedan. Detta är ett sätt att övervaka effektförlusterna i fiberkontakten. Fellinjering av fibern och dålig rengöring av kvartscylindern är några exempel på tillstånd som direkt återspeglas i effektförluster i fiberkontakten. Också otillräckligt vattenflöde blir synligt genom ett högt Delta-T-värde. Fuktgivaren 19 arrangeras för att mäta fuktigheten i fiberkontakten och placeras också inuti kontakten. Den avsedda användningen är att upptäcka eventuella vattenläckage i kontakten.

I figur 2 illustreras sensorer 14 för en optisk fiberdesign med glaskapillär 20 och modestripper 21. Det är tidigare känt att använda system med modestripper och glaskapillär för att manipulera det tillbaka-reflekterade ljuset för att öka eller minska signalen till ljussensorerna. Modestrippern 21 kommer att avlägsna ljuset inuti manteln och överföra ljuset till det optiska rummet 22. Från det optiska rummet 22 kan ljuset överföras till ljussensorerna 14 i den bakre delen av kontakten genom glaskapillärröret 20. 20 indikeras med 23 i figur 2. Strålljus eller

processljus kommer också att lämna den optiska fibern genom bufferten och jackan, och kommer att detekteras på samma sätt som ljuset genom glaskapillären 20.

I figur 3 illustreras sensorerna 14 i kombination med en optisk fiberdesign med glaskapillärrör 20, modestripper 21 och glascylinder 24. Det är tidigare känt att man kan täta det optiska rummet och addera bra prestanda till kontaktens utformning genom en glascylinder 24, med eller utan en AR-beläggning, som avslutande yta på ingångskontakten. Såsom i figur 2 indikeras tillbaka-reflekterat ljus genom glaskapillärröret till ljussensorerna med 23 i figur 3.

10 I figur 4 illustreras sensorerna 14 i kombination med en optisk fiberdesign med kylvatten 26 inuti kontakten bakom en glascylinder 24 och ett glas(kvarts)kapillärrör. I detta fall är det optiska rummet fyllt med vatten för att kyla kontakten och absorbera tillbaka-reflekterat ljus, som inte används i laserprocessen. Kylvattnet flyter precis bakom glascylindern 24 och omger den optiska fibern och modestrippern. Vattnet omger också glaskapillärröret 20, vilket 15 fungerar som ljusledare mellan det optiska rummet och den bakre delen av kontakten där ljussensorerna 14 är belägna. Tillbaka-reflekterat ljus genom glaskapillärröret 20 till ljussensorerna indikeras med 25 i figur 4.

Genom att mäta temperaturen på det inkommande vattnet T_{in} och temperaturen på det 20 utgående vattnet T_{out} , kan den differentiella temperaturen dT beräknas. Tillsammans med signalen från ljussensorerna är detta en stark återkopplingsindikering från tillämpningen där laserstrålen används. Dessa två signaler (ljussensorsignal och differenstemperatursignal) kan övervakas och kan hjälpa till med justeringar i bearbetningsprocessen i ett slutet kretssystem. Detta kommer i slutändan att förbättra kvaliteten och effektiviteten i laserprocessen.

25 I figur 5 illustreras sensorerna 14 i kombination med en optisk fiberdesign med kylvatten 26 inuti kontakten bakom en glascylinder 27 och ett glas(kvarts)kapillärrör 20 och i vilken glascylindern 27 separerar ljuset i olika våglängder. Genom att använda glascylindern 27 som avslutning på den optiska fibern kommer processljuset delas upp i ett spektrum 29 inuti 30 glascylindern. Fokus kommer att skifta då de olika våglängderna passerar materialet med olika brytningsindex. Detta kommer slutligen att öka signalen till ljussensorerna 14 genom glaskapillärröret 20. Tillbaka-reflekterat ljus genom glaskapillärröret 20 till ljussensorerna indikeras med 28 i figur 5.

Alla de hittills beskrivna sensorerna är anslutna till fiberns blockeringssystem, där blockeringsfunktioner aktiveras när uppmätta signaler är högre än tröskelvärdena. Tröskelnivån kan sedan sättas till ett absolut värde eller ett differentiellt (förändras i nivå) värde.

5

Det är ett mycket snabbt blockeringssystem då kontrollen av signalerna är integrerade i elektroniken inuti fiberkontakten. Dessutom, eftersom alla signaler kan loggas, är det möjligt att utvärdera vad som händer inne i kontakten innan en blockering inträffar. Kommunikationen till de fiberoptiska kontakterna sker företrädesvis via ett CAN-gränssnitt. Därför är det enkelt att utveckla det befintliga laserkontrollsystemet till att också styra CAN-meddelanden från ljussensorerna 14.

10

Sensorerna är anslutna till fiberblockeringssystemet i en sluten krets, varvid huvudslingan i fiberkontakternas sensorelektronik mäter parametrarna exempelvis varje 10 ms. Jämförelse med satta tröskelvärden görs för varje iteration. Paustiden för reläenheten är cirka 3 ms. Därmed är tiden för att bryta blockeringssystemet mindre än 20 ms. Svarstiden är den tid det tar för en sensor för att reagera och att bryta blockeringskretsen. Det tar alltid en viss tid att värma upp ett material, denna tid är inte inkluderad i svarstiden. Av denna anledning är de nämnda sensorerna de snabbaste, eftersom de reagerar på ljus. Sensorerna kan ställas in på olika tröskelvärden som kan styra reläenheten i blockeringskretsen och bryta blockeringskretsen vid ett inställt värde. Tröskelvärdena kan ställas in av en dator som också används för att övervaka laserbearbetningsprocessen.

15

20

Uppfinningen är inte begränsad till de ovan beskrivna exemplen, utan kan varieras inom ramen för de följande patentkraven.

25