

Förfarande för svetsning av kärnbränslestav

UPPFINNINGENS OMRÅDE

5

Föreliggande uppfinning avser allmänt svetsning av nukleära komponenter, i synnerhet nukleära komponenter tillverkade av zirkoniumbaserade legeringar. Närmare bestämt avser föreliggande uppfinning ett förfarande i enlighet med den inledande delen av krav 1.

10

UPPFINNINGENS BAKGRUND OCH TIDIGARE TEKNIK

Speciella svårigheter uppstår när ändpluggar svetsas på kapslingsröret hos en bränslestav. Svårigheterna innefattar materialet av vilket ändpluggarna och bränslestavarna tillverkas, nämligen zirkoniumbaserade legeringar såsom Zirkaloy-1, Zirkaloy-2, Zirkaloy-4, ZIRLO, ZIRLO-B, etc. Zirkoniumbaserade legeringar har en hög benägenhet för oxidering vid smälttemperaturen.

20

En ytterligare svårighet är att ingen atmosfärsluft eller andra omgivande gaser tillåts inträda i bränslestavens inre i samband med den slutliga fyllningen av helium med högt tryck, försegling och svetsning av bränslestaven. Det finns två metoder för att lösa detta problem. Bränslestaven kan fyllas med bränslekutsar och staven förslutas med ändpluggar. Ändpluggarna svetsas vid kapslingsröret i deras slutliga position utan helium vid högt tryck. Därefter fylls bränslestaven med heliumgas genom ett så kallat fyllhål genom en av ändpluggarna. Fyllhålet försluts sedan med hjälp av en slutlig svetsoperation. Alternativt fylls bränslestaven med bränslekutsar och heliumgas innan den slutliga positioneringen och svetsningen av ändpluggarna. Det tryck som råder i bränslestavarna som är fyllda med helium är i typiska fall 5-10 bar för kokvattenreaktorer, BWR, och 30-70 bar för tryckvattenreaktorer, PWR. Möjligheten att svetsa ändpluggen vid

35

dessa tryck i helium utgör en ytterligare svårighet men eliminerar behovet av ett fyllhåll och ett svetssteg för att försluta ett sådant fyllhåll.

5 FR-A-2 625 022 visar ett förfarande för svetsning av en ändplugg vid ett kapslingsrör hos en kärnbränslestav. Det kända förfarandet innefattar stegen att fästa en nedre ändplugg, fylla bränslestavens inre med bränslekutsar och heliumgas, positionera den övre ändpluggen till anliggning mot den övre änden
10 hos kapslingsröret vid ett gränssnitt, och att applicera en laserstråle från en laserkälla. Den föreslagna lasern är en pulsad laser. Laserstrålen riktas mot en svetszon vid gränssnittet för att smälta material hos ändpluggen och kapslingsröret vid gränssnittet.

15

US-5231261 visar en pulsad lasersvetsningsutrustning för svetsning av bränslestavar och övervakning av laserstrålen. Övervakningen av laserstrålen görs innan strålen passerar genom skyddslinsen. Den kan därför inte identifiera förändringar hos
20 skyddslinsen, exempelvis från sot som kommer från svetsprocessen. Svetsutrustningens uppställning för omfångssvetsning görs inte under tryck. Svetsning vid heliumtryck görs i en separat uppställning för ett fyllhåll och således elimineras inte behovet av ett sådant fyllhåll och av svetsprocessteg.

25

US-5958267 visar ett förfarande för svetsning av bränslestavar under högt tryck och för styrning av laserpositionen med ett videosystem. Förfarandet avser att förhindra sotackumulering på ett laserfönster och att begränsa plasmabildning. I praktiken är
30 detta svårt att uppnå och processen, utan styrning av plasmata, är möjligen instabil.

US-6670574 visar ett lasersvetsövervakningssystem för övervakning av svetsningen av en pulsad laserstråle. Systemet innefattar två sensorer, en sensor för avkänning av infraröd strålning
35 och en sensor för avkänning av reflektion av ljus hos laserstrå-

len. Förfarandet föreslår väsentligen ett "trial and error"-förfarande med ett flertal svetsar för att korrelera de komplicerade sensorkurvorna till svetsegenskaper.

- 5 US-5651903 visar också ett system för övervakning av lasersvetsning med hjälp av en utrustning som innefattar två sensorer anordnade bredvid laserstrålens optiska bana. En första sensor känner av infraröd strålning hos temperaturen hos svetsen och en andra sensor känner av ultraviolett strålning hos plasmat hos svetsen. De elektriska signalerna används för övervakning av variationer jämförda med förbestämda anomalivärden erhållna genom empirisk testning.

- US-6710283 visar ett ytterligare lasersvetsövervakningssystem. 15 Systemet innefattar två sensorer anordnade bredvid laserstrålens optiska bana. En första sensor känner av reflekterat ljus hos laserstrålen och en andra sensor, kallad en plasmatisk sensor, känner av ljus som emitteras från svetszonen. Förfarandet använder frekvensspektrat för jämförelse av aktuella variationer i 20 signalen med förbestämda tröskelvärden.

SAMMANFATTNING AV UPPFINNINGEN

- Ändamålet med föreliggande uppfinning är att tillhandahålla ett 25 förbättrat förfarande för svetsning av en bränslestav, speciellt för svetsning av ändpluggar utan fyllhål vid ett kapslingsrör hos en bränslestav.

- Detta ändamål uppnås med det inledningsvis angivna förfarandet som kännetecknas av förfarandestegen hos den kännetecknande delen av krav 1. 30

- Genom avkänning av olika våglängder hos strålningen från svetszonen är det möjligt att övervaka kvaliteten hos svetsen och förbindningen av ändpluggen och bränslestaven. De tre olika våglängdsområdena är oberoende av varandra och tillhanda- 35

- håller olika information. En möjlig avvikelse från ett normalt värde hos strålningen inom något av de tre våglängdsområdena kan användas som en indikation på en felaktig svetsprocess vilket möjliggör för operatören att justera svetsutrustningen. Ex-
- 5 exempelvis kan operatören justera laserkällans effekt inom ett tillåtet område.
- Övervakningen tillhandahåller direkt återkoppling under svetsprocessen och således en varning om någonting går fel eller om
- 10 det finns en trend som kräver agerande.
- Det första våglängdsområdet, som kan kännas av med en första sensor, innefattar våglängden hos laserstrålen som kommer från reflektioner från svetszonen. Intensiteten hos denna avkända
- 15 strålning är en indikation på sot eller andra förändringar hos skyddslinsernas överföring genom vilka laserstrålen passerar. Den indikerar också förändringar hos den inkommande lasereffekten och reflektionsförändringar på arbetsstycket.
- 20 Det andra våglängdsområdet, som kan avkännas med en andra sensor, innefattar infraröd strålning från smält material i svetszonen. Intensiteten hos denna strålning är således en indikation på temperaturen och storleken av det smälta materialet. Detta indikerar också effektiviteten hos svetsningen, dvs. svetsens
- 25 penetrering.
- Det tredje våglängdsområdet, som kan avkännas med en tredje sensor, innefattar strålning från plasma i svetszonen. Intensiteten hos denna strålning är en indikation på mängden och ut-
- 30 bredningen av plasmat som bildas under svetsningen. En förhöjd signal från plasmat indikerar också en minskad effektivitet hos svetsningen, dvs. svetsens penetrering.
- Jämfört med tidigare förfaranden för övervakning har detta förfarande en jämförelsevis enkel och rättfram tolkning och erfordrar
- 35 inte en mängd "trial and error"-svetsningar för att finna en

svetskarakteristik att jämföra kurvorna med. I princip erfordras endast en bra svets som bas för att jämföra aktuella svetskurvor.

- 5 Lasersvetsning för förbindning av ändpluggar med bränslestavar har ett flertal fördelar i jämförelse med andra svetsmetoder, såsom elektronstrålesvetsning och TIG-svetsning. Investeringskostnaderna är låga, exempelvis eftersom det är möjligt att innesluta en ändsektion av bränslestaven som skall svetsas. En
- 10 relativt liten inneslutning kan således utnyttjas och därmed kommer ett relativt litet golvutrymme att upptas av svetsutrustningen. Det är möjligt att använda en enda laserkälla för sekventiell svetsning av ett flertal bränslestavar i flera svetsutrustningar. Lasersvetsning möjliggör uppnående av en jämn svetsyta vilket är viktigt när bränslestavarna förs in i spridarna hos
- 15 bränslepatronen. Legeringsutarmningen är låg vilket säkerställer lämpligt korruptionsmotstånd. Det finns ingen risk för volframkontamination från en TIG-förslutningssvets av ett fyllhål.
- 20 Avkänningen och övervakningen kan ske under hela tidsperioden för svetsningen av förbindningen mellan ändpluggen och kapslingsröret. Bränslestaven roteras under svetsningen så att laserstrålen förflyttas i förhållande till bränslestaven längs gränssnittet. Svetsningen kan genomföras under en, två eller
- 25 flera varv av bränslestaven. I typiska fall kan rotationshastigheten vara ungefär ett varv per sekund, vilket innebär att svetsningen av ändpluggen vid kapslingsröret kan vara ungefär två sekunder.
- 30 Enligt en utföringsform av uppfinningen innefattar nämnda reflektioner också reflektioner, eller partiella reflektioner, av laserstrålen i den optiska banan, innefattande skyddslinser genom vilka den optiska banan passerar.
- 35 Enligt en ytterligare utföringsform av uppfinningen avkänns strålningen hos åtminstone ett av det första våglängdsområdet,

det andra våglängdsområdet och det tredje våglängdsområdet längs en riktning som är koaxiell med den optiska banan åtminstone i närheten av svetszonen. Strålningen till de olika sensorerna kan således avledas från den optiska banan till gränssnittet.

Enligt en ytterligare utföringsform av uppfinningen innefattar förfarandet också observation av svetszonen före, och/eller under, svetsningen och smältningen av material med hjälp av en videokamera. Det är således möjligt för operatören att inspektera gränssnittet innan svetsningen initieras. Med fördel kan förfarandet också innefatta styrning av laserstrålens position i förhållande till gränssnittet med hjälp av det observerade gränssnittet. Vidare kan observationen av svetszonen ske längs en observationsriktning som är koaxiell med den optiska banan åtminstone i närheten av svetszonen.

Enligt en ytterligare utföringsform av uppfinningen innefattar förfarandet också steget att styra laserstrålens effekt som svar på de avkända strålningarna.

Enligt en ytterligare utföringsform av uppfinningen optimeras och/eller styrs laserutrustningens uppställning genom användande av anomalier hos signalkurvor från de tre olika våglängderna. Ojämna signalkurvor, som jämförs med en referenssignalkurva från tidigare godkända svetstest, indikerar ojämnt gränssnitt eller wobbling eller smuts i svetsområdet och kan leda till porer eller ojämn svetskvalitet.

Enligt ytterligare en utföringsform av uppfinningen innefattar övervakningssteget övervakning av intensiteten hos strålningen från det första våglängdsområdet såsom en första signalnivå över tid för bildande av en första signalkurva, övervakning av intensiteten hos strålningen från det andra våglängdsområdet såsom en andra signalnivå över tid för bildande av en andra signalkurva, och övervakning av intensiteten av strålningen från det

tredje våglängdsområdet såsom en tredje signalnivå över tid för bildande av en tredje signalkurva. Denna uppställning av svetsutrustningen kan optimeras och/eller styras med användande av signalnivåerna från de tre olika våglängderna.

5

Enligt en ytterligare utföringsform av uppfinningen innefattar för-
farandet steget att optimera och verifiera svetsutrustningens
uppställning innefattande effektnivån hos laserstrålen och inrikt-
ningen av den optiska banan, innefattande linser och/eller
10 skyddslinser, med signalnivån hos det första våglängdsområdet
som innefattar strålningen hos reflektionen av laserstrålen. Un-
der svetsningen kan samma signalnivå användas för styrning av
förändringar hos den överförda laserstrålen, exempelvis på
grund av sot på skyddslinsen precis ovanför svetszonen.

15

Enligt en ytterligare utföringsform av uppfinningen innefattar för-
farandet steget att styra fokuspositionen, effektiviteten och/eller
penetreringen av laserstrålen medelst signalnivån hos det andra
våglängdsområdet som innefattar den infraröda strålningen från
20 det smälta materialet. En förhöjd infraröd signal kan motsvara
en djupare penetrering hos svetsen.

Enligt en ytterligare utföringsform av uppfinningen innefattar för-
farandet steget att styra effektiviteten och penetreringen hos
25 svetsningen medelst signalnivån hos det tredje våglängdsområ-
det som innefattar strålningen från plasmat. En förhöjd plasma-
signal kan motsvara en minskad penetrering hos svetsen.

Enligt en ytterligare utföringsform av uppfinningen innefattar för-
30 farandet steget att övervaka anomalier hos någon av signalkur-
vorna från de tre olika våglängdsområdena i jämförelse med en
referenssignalkurva, exempelvis bildad genom tidigare godkän-
da svetest, för att indikera ojämnt gränssnitt eller wobbling el-
ler smuts i svetszonen och/eller möjligt uppträdande av porer
35 eller ojämn svetskvalitet.

Enligt en ytterligare utföringsform av uppfinningen är laserstrålen en kontinuerlig laserstråle. Den kontinuerliga laserstrålen kan genereras med hjälp av exempelvis en Yb:YAG-fiber pumpad med InGaAs-dioder. I typiska fall används en lasereffekt på 500 W. Föreliggande förfarande förenklas ytterligare när det används med en kontinuerlig laserstråle som ger enkla stabila signaler i jämförelse med utföringsformer med en pulsad laser.

Enligt en ytterligare utföringsform av uppfinningen ligger våglängdsområdet hos laserstrålen i området 1050-1090 nm, företrädesvis i området 1060-1080 nm, exempelvis 1070 nm.

Enligt en ytterligare utföringsform av uppfinningen är det andra våglängdsområdet 1100-1800 nm.

Enligt en ytterligare utföringsform av uppfinningen är det tredje våglängdsområdet mindre än 600 nm, företrädesvis 50-600 nm, mer företrädesvis 100-600 nm. Signalen hos plasmat förbättras i jämförelse med andra utföringsformer som endast utnyttjar ultraviolett ljus under 390 nm. Således kan ett föredraget område för det tredje våglängdsområdet vara 390-600 nm, eller 400-600 nm.

Enligt en ytterligare utföringsform av uppfinningen sker svetsningen i en sluten inneslutning innehållande en atmosfär av helium vid ett tryck över atmosfärstrycket. Ett gasflöde på i typiska fall 50 liter per minut kan vara fördelaktigt för begränsning av plasmat och sotbildningen och således skydda linsen ovanför svetszonen. Gasflödet träder företrädesvis in i utrustningen nedanför skyddslinserna och strömmar koaxiellt med laserstrålen som passerar svetszonen. Genom genomförande av svetsningen i en sådan sluten inneslutning kan svetsningen genomföras i endast två steg, ett steg för den nedre pluggen och ett för den övre pluggen, utan behov av ett fyllhål som skall svetsas efter svetsningen längs gränssnittet. Elimineringen av fyllhålet kommer att skära kostnader och minska risker på olika sätt. Det blir

5 lägre kostnader för övre ändpluggar utan fyllhåll. Ingen separat svetsstation för fyllhåll erfordras. Ingen utrustning för svetsinspektion av fyllhåll erfordras. Det finns naturligtvis inga förluster för förslutningssvetsning. Risken för volframkontaminering eliminerar.

10 Svetsningen kan också genomföras med andra skyddsgaser, till exempel argon. När den sista ändpluggen svetsas kan detta göras först efter en säker och försluten anbringning av ändpluggen vid kapslingsröret eftersom bränslestavens inre måste innehålla helium. Svetsning med argon är billigare men svetsningen är mindre stabil och behovet av svetseffekt är högre på grund av större bildning av plasma i argonatmosfären.

15 Enligt en ytterligare utföringsform av uppfinningen innesluter den slutna inneslutningen ändpluggen och en ändsektion av kapslingsröret, varvid förfarandet innefattar de föregående stegen att evakuera kapslingsrörets inre och den slutna inneslutningen till en bestämd vakuumnivå under en förbestämd tidsperiod och att därefter fylla den slutna inneslutningen och kapslingsrörets inre med helium till ett förbestämt tryck.

25 Vidare kan förfarandet innefatta stegen att förpositionera ändpluggen på kapslingsröret på ett bestämt avstånd från kapslingsröret före evakueringssteget och därvid medge ett fritt flöde av gas från och till kapslingsrörets inre och att slutligen positionera ändpluggen på kapslingsröret efter fyllsteget och före svetssteget. Med fördel görs förpositioneringen av ändpluggen på det bestämda avståndet med hjälp av ett mekaniskt stopp, som kan
30 förskjutas till att införas i avståndet mellan kapslingsröret och ändpluggen, och dras bort därifrån.

KORT BESKRIVNING AV RITNINGARNA

Uppfinningen ska nu förklaras närmare genom en beskrivning av olika utföringsformer och med hänvisning till bifogade ritningar.

- 5 Fig. 1 visar ett längdsnitt genom en ändsektion hos en bränslestav, varvid ändpluggen är positionerad på ett avstånd från kapslingsröret.
- Fig. 2 visar ett längdsnitt genom ändsektionen hos bränslestaven, varvid ändpluggen ligger an mot kapslingsröret.
- 10 Fig. 3 visar ett längdsnitt genom ändsektionen hos bränslestaven, varvid ändpluggen och kapslingsröret är svetsade.
- Fig. 4 visar en schematisk vy av en svetsutrustning.
- 15 Fig. 5 visar ett diagram över intensiteten hos strålningen hos det första våglängdsområdet.
- Fig. 6 visar ett diagram över intensiteten hos strålningen hos det andra våglängdsområdet.
- Fig. 7 visar ett diagram över intensiteten hos strålningen hos det tredje våglängdsområdet.
- 20

DETALJERAD BESKRIVNING AV OLIKA UTFÖRINGSFORMER

- Fig. 1-3 visar en bränslestav 1 som innefattar ett kapslingsrör 2 och två ändpluggar 3, av vilka en visas. Bränslestaven 1 innefattar en övre ändplugg 3 i den övre änden av kapslingsröret 2, och en nedre ändplugg vid den nedre änden av kapslingsröret 2. Bränslestaven 1 innefattar också en stapel av bränslekutsar 4 i kapslingsrörets 2 inre. Bränslekutsarna 4 vilar direkt på den nedre ändpluggen. En så kallad plenumfjäder 5 är anordnad mellan den övre änden av stapeln av bränslekutsar 4 och den övre ändpluggen 3 för att hålla bränslekutsarna i en korrekt position i kapslingsröret 2 och säkerställa ett plenum 6 för innehållande av helium och fissionsgaser som genereras under den fissila processen i kärnreaktorn. Kärnreaktorn kan vara en kokvattenreaktor, BWR, eller en tryckvattenreaktor, PWR. Det initia-
- 25
- 30
- 35

la tryck som råder i bränslestaven 1 fylld med helium är i typiska fall 5-10 bar för en BWR, och 30-70 bar för en PWR.

I de visade utföringsformerna innefattar kapslingsröret ett yttre rör 2' och ett inre rör 2'', en så kalla liner.

Fig. 4 visar en svetsutrustning för svetsning av ändpluggen 3 vid kapslingsröret 2. Svetsutrustningen innefattar en chuck 10 för att hålla och rotera bränslestaven och en slutna inneslutning 11 i vilken en ändsektion av bränslestaven 1 införs via en passage, dvs. en ändsektion av kapslingsröret 2 och en av ändpluggarna 3. Chucken 10 är utformad att rotera bränslestaven med en rotationshastighet på exempelvis ett varv per sekund.

Den slutna inneslutningen 11 innefattar eller är bildad av en trycktålig vägg 12. En tätning 13 sträcker sig genom väggen 12 för att tätta passagen för bränslestaven 1.

En första positioneringsanordning 14 är anordnad att sträcka sig genom väggen 12 vid en ände motsatt tätningen 13. Den första positioneringsanordningen 14 innefattar en rörlig kolv 15 som verkar på ändpluggen 3 hos bränslestaven 1 längs bränslestavens 1 längsgående riktning.

Vidare är en andra positioneringsanordning 16 anordnad att sträcka sig genom väggen 12. Den andra positioneringsanordningen 16 innefattar ett mekaniskt stopp 17 anordnat i inneslutningen 11 för att vara förskjutbart längs en transversell riktning y, som är transversell mot bränslestavens 1 längsgående riktning x mellan en passiv position visad i Fig. 4 och en aktiv position visad i Fig. 1. Det mekaniska stoppet 17 håller när det är i den aktiva positionen ändpluggen 3 på ett bestämt avstånd från kapslingsröret 2 så att gaser kan evakueras från bränslestavens inre och helium kan fyllas i bränslestaven 1. När det mekaniska stoppet 17 dras tillbaka till den passiva positionen kan ändpluggen 3 bringas till den slutliga positionen och tät anliggning mot

kapslingsröret 2 med hjälp av den första positioneringsanordningen 14.

- 5 Vidare innefattar inneslutningen 11 en första skyddslins 21 som bildar en del av väggen 12 hos inneslutningen 11. En andra skyddslins 22 är anordnad inuti inneslutningen innanför den första skyddslinsen 21. Den första skyddslinsen 21 är relativt tjock och utformad att motstå det tryck som råder i inneslutningen 11.
- 10 Den andra skyddslinsen 22 är tunnare än den första skyddslinsen 21 och utformad att skydda den första skyddslinsen mot sot som bildas under svetsningen.

- En gastillförselanordning 23 är anordnad för tillförsel av ett flöde
- 15 av gas, i de visade utföringsformerna helium, till inneslutningen 11. Gastillförselanordningen 23 innefattar en tillförselledning 24 och ett ringformigt munstycke anordnat i inneslutningen 11. Det ringformiga munstycket 25 är anordnat mellan den andra skyddslinsen 22 och bränslestaven 1 och sträcker sig runt den
- 20 andra skyddslinsen 22. Flödet av heliumgas till inneslutningen kan exempelvis vara ungefär 50 liter per minut. Gastillförselanordningen 23 är utformad att tillhandahålla ett gastryck i inneslutningen lika med gasen som skall uppnås i bränslestaven när båda ändpluggarna är säkrade och svetsade vid kapslingsröret
- 25 2.

- Svetsutrustningen innefattar också en laserkälla 30 utformad för att generera en kontinuerlig laserstråle. Laserkällan 30 kan exempelvis innefatta en Yb:YAG-fiberlaser med en våglängd i området
- 30 1050-1090 nm, företrädesvis i området 1060-1080 nm, exempelvis 1070 nm. YB:YAG-fibern kan pumpas medelst InGaAs-dioder.

- Laserkällan 30 överför laserstrålen via en fiber 31 till en primär
- 35 optik 32. Den primära optiken 32 överför laserstrålen till en primär spegel 33 via en sekundär semitransparent spegel 34. Från

den primära spegeln 33 reflekteras laserstrålen och riktas mot bränslestaven 1 och en svetszon 36 vid ett gränssnitt 37 mellan ändpluggen 3 och kapslingsröret 2.

- 5 Laserstrålen sträcker sig således längs en optisk bana från laserkällan 30 till svetszonen 36. Laserstrålen, som reflekteras av den primära spegeln 33, passerar genom åtminstone en optisk fokuseringslins 35, den första skyddslinsen 21 och den andra skyddslinsen 22 längs den optiska banan.
- 10 Svetsutrustningen innefattar också en avkänningsanordning innefattande en första sensor 41, en andra sensor 42 och en tredje sensor 43. Under svetsning överförs strålning från svetszonen 36 till sensorerna 41, 42 och 43 längs den optiska banan genom
- 15 den andra skyddslinsen 22, den första skyddslinsen 21 och den optiska linsen 35. Strålningen reflekteras av den primära spegeln 33 och den sekundära spegeln 34 bort från laserstrålens optiska bana. Strålningen från svetszonen 36 sträcker sig således längs en riktning som är koaxiell med den optiska banan
- 20 i närheten av svetszonen 36 åtminstone längs en rät linje från svetszonen 36 eller till den andra spegeln 34. Avkänningsanordningen kan drivas vid en samplings-frekvens på upp till 20 kHz.
- 25 Via en första semitransparent spegel 44 reflekteras strålningen till den första sensorn 41. Via en andra semitransparent spegel 45 reflekteras strålningen till den andra sensorn 42. Strålningen passerar genom de semitransparenta speglarna 44, 45 och 46 till den tredje sensorn 43.
- 30 Den första sensorn 41 är utformad att avkänna strålning från svetszonen 36 inom ett första våglängdsområde, som innefattar våglängden hos laserstrålen som kommer från reflektioner från svetszonen 36, dvs. våglängder i området 1050-1090 nm, företrädesvis i området 1060-1080 nm, exempelvis 1070 nm. Reflektionerna från svetszonen 36 som reflekteras via en andra semitransparent spegel 45 innefattar också reflektioner, eller partiel-
- 35

la reflektioner, av laserstrålen i den optiska banan, innefattande de första och andra skyddslinserna 21, 22 och nämnda åtminstone en optisk lins 35.

- 5 Den andra sensorn 42 är utformad att avkänna strålning från svetszonen 36 inom ett andra våglängdsområde som skiljer sig från det första våglängdsområdet. Strålningarna reflekteras till den andra sensorn via en tredje semitransparent spegel 46. Det andra våglängdsområdet innefattar infraröd strålning från smält material i svetszonen 36. Det andra våglängdsområdet är 1100-1800 nm.

- 15 Den tredje sensorn 43 är utformad att avkänna strålning från svetszonen 36 inom ett tredje våglängdsområde som skiljer sig från det första våglängdsområdet och det andra våglängdsområdet. Strålningarna till den tredje sensorn passerar genom de semitransparenta speglarna 44, 45 och 46. Det tredje våglängdsområdet innefattar strålning från plasma i svetszonen 36. Det tredje våglängdsområdet är mindre än 600 nm, företrädesvis 50-600 nm, mer företrädesvis 100-600 nm.

- Svetsutrustningen innefattar också en övervakningsanordning utformad att övervaka svetsningen och smältningen av material genom övervakning av de avkända strålningarna. Övervakningsanordningen innefattar en processor 50 och en display 51 som kommunicerar med processorn 50. Sensorerna 41-43 kommunicerar med processorn 50 som mottager strålningssignaler hos de tre våglängdsområdena från sensorerna 41-43. Övervakningsanordningen är således utformad att för en operatör på en display visa intensiteterna hos våglängdsområdena, dvs. intensiteten hos strålningen hos det första våglängdsområdet som en första signalkurva (i volt) över tid (i sekunder) för bildande av en första signalkurva 56, såsom illustreras i Fig. 5, intensiteten hos strålningen hos det andra våglängdsområdet, som en andra signalkurva (i volt) över tid (i sekunder) för bildande av en andra signalkurva 57, såsom illustreras i Fig. 6, och intensiteten hos

strålningen hos det tredje våglängdsområdet som en tredje signalnivå (i volt) över tid (i sekunder) för bildande av en tredje signalkurva 58, såsom illustreras i Fig. 7. Signalkurvorna 56-58 kan sparas av processorn för framtida användande som referens eller kvalitetssäkring.

Signalkurvorna 56-57 kan inspekteras eller övervakas för att ligga inom en övre gränslinje L_1 och en nedre gränslinje L_2 . De övre och nedre gränslinjerna L_1 , L_2 kan representera en avvikelse på 15%, eller företrädesvis 10%, från en önskad signalnivå.

Signalkurvorna 56-57 kan också, eller alternativt, inspekteras eller övervakas i förhållande till en referenslinje R som representerar en önskad signalnivå. Linjen R kan alternativt vara en sparad referenskurva från en bra svets. Linjen R kan alternativt vara en sparad referenskurva från en medelvärdeskurva från flera bra svetsar.

Vidare innefattar svetsutrustningen en observationsanordning utformad att möjliggöra observation av svetszonen före, och/eller under, svetsningen och smältningen av material. I detta syfte innefattar observationsanordningen en videokamera 61, en processor 62 och en display 63. Om observationsanordningen skall användas före svetsning kan inneslutningen 11 belysas med exempelvis LED-ljus. Observationen av svetszonen 36 kan ske längs en observationsriktning som är koaxiell med den optiska banan i närheten av svetszonen 36 åtminstone längs en rät linje från svetszonen 36 eller fram till den andra spegeln 34. Tack vare observationsanordningen kan laserstrålens position i förhållande till gränssnittet 37 styras manuellt av operatören när gränssnittet 37 inspekteras på displayen 36 eller automatiskt.

Svetsutrustningen kan också innefatta medel för styrning av effekten hos laserstrålen som svar på de avkända strålningarna med hjälp av processorn 50 som styr laserkällans 30 utmatning. Styrningen kan genomföras manuellt av operatören vid inspek-

tion av signalkurvorna som visas på displayen 51, eller automatiskt.

- 5 Styrningen kan, företrädesvis som en initial åtgärd, innefatta steget att verifiera svetsutrustningens uppställning innefattande effektnivån hos laserstrålen och den optiska banan med signalnivån hos det första våglängdsområdet som innefattar strålningen hos laserstrålens reflektion.
- 10 Under svetsning, eller mellan svetsningen av bränslestavarna 1, kan styrningen innefatta stegen
 - styrning av laserstrålens fokusposition med hjälp av signalnivån hos det andra våglängdsområdet som innefattar infraröd strålning från smältmaterial, och/eller
 - 15 - styrning av effektiviteten och penetreringen hos svetsningen medelst signalnivån hos våglängden som innefattar strålningen från plasmat.
- 20 Under svetsning är det också möjligt att övervaka anomalier hos signalkurvorna från de tre olika våglängdsområdena i jämförelse med en referenssignalkurva för att indikera ojämnt gränssnitt eller wobbling eller smuts i svetszonen och/eller möjligt uppträdande av porer eller ojämn svetskvalitet.
- 25 Förfarandet och svetsutrustningen möjliggör uppnående av en mjuk och jämn svets. Formen hos den slutliga svetsen W illustreras i Fig. 3. Såsom kan ses är ytan hos den omgivande svetsen W jämn med ytan hos kapslingsröret 2 och ändpluggen 3.
- 30 Svetsning av en bränslestav 1 kan innefatta följande steg:
 - förpositionering av en nedre ändplugg vid en nedre ändsektion hos ett kapslingsrör 2,
 - införande av den nedre ändsektionen in i inneslutningen 11
 - 35 och hållande av bränslestaven 1 med hjälp av chucken 10,

- aktivering av den första positioneringsanordningen 14 för att pressa den nedre ändpluggen mot kapslingsröret 2,
- evakuering av inneslutningen 11 till en viss vakuumnivå under en förbestämd tidsperiod,
- 5 - rotation av bränslestaven 1 med hjälp av chucken 10,
- inspektion av positionen hos och positionering av gränssnittet 37 med hjälp av observationsanordningen,
- initiering av svetsningen med laserkällan 30,
- övervakning av signalkurvorna 56-58 som illustrerar intensiteten hos de tre våglängdsområdena,
- 10 - avlägsnande av bränslestaven 1 från inneslutningen 11,
- förpositionering av en övre ändplugg 3 vid en övre ändsektion hos ett kapslingsrör 2,
- införande av den övre ändsektionen in i inneslutningen 11 och
- 15 hållande av bränslestaven 1 med hjälp av chucken 10,
- aktivering av den andra positioneringsanordningen 16 för att bringa det mekaniska stoppet 17 till kontakt med den övre ändsektionen för säkerställande av ett bestämt avstånd mellan den övre ändpluggen 3 och kapslingsröret 2,
- 20 - evakuering av inneslutningen 11 till en viss vakuumnivå under en förbestämd tidsperiod,
- fyllning av inneslutningen 11 och bränslestavens 1 inre med helium till ett önskat förbestämt tryck,
- avlägsnande av det mekaniska stoppet 17,
- 25 - aktivering av den första positioneringsanordningen 14 för att pressa den övre ändpluggen 3 mot kapslingsröret 2,
- rotation av bränslestaven med hjälp av chucken 10,
- inspektion av positionen hos och positioneringen av gränssnittet 37 med hjälp av observationsanordningen,
- 30 - initiering av svetsningen med laserkällan 3,
- övervakning av signalkurvorna 56-58 som illustrerar intensiteten hos de tre våglängdsområdena, och
- avlägsnande av bränslestaven 1 från inneslutningen 11.

Föreliggande uppfinning är inte begränsad till de utföringsformer och beskrivningar som ges ovan utan kan varieras och modifieras inom ramen för de efterföljande patentkraven.