



①9



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

①1 Número de publicación: **2 323 386**

⑤1 Int. Cl.:

B29C 70/22 (2006.01)

B29C 70/10 (2006.01)

B29K 101/10 (2006.01)

B29K 309/08 (2006.01)

B29L 31/30 (2006.01)

①2

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

⑨6 Número de solicitud europea: **06755600 .1**

⑨6 Fecha de presentación : **22.06.2006**

⑨7 Número de publicación de la solicitud: **1901911**

⑨7 Fecha de publicación de la solicitud: **26.03.2008**

⑤4 Título: **Materiales de fibras de autorreparación y métodos de reparación.**

③0 Prioridad: **30.06.2005 GB 0513497**
17.08.2005 GB 0516996

④5 Fecha de publicación de la mención BOPI:
14.07.2009

④5 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
14.07.2009

⑦3 Titular/es: **BAE Systems plc.**
6 Carlton Gardens
London SW1Y 5AD, GB

⑦2 Inventor/es: **Haq, Sajad y**
Dunleavy, Michael

⑦4 Agente: **González Palmero, Fe**

ES 2 323 386 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Materiales de fibras de autorreparación y métodos de reparación.

5 Esta invención se refiere a materiales de fibras y se refiere específicamente a estructuras en las que se combinan fibras huecas y/o sólidas en un único cuerpo para formar un cuerpo compuesto que tiene capacidades de autorreparación y que tiene la capacidad de proporcionar una indicación tanto de cuándo se requiere una reparación como de cuándo se ha llevado a cabo una autorreparación. Esto puede aplicarse particularmente, pero sin limitarse, a lo que se denomina reparación de daños en combate que puede improvisarse, o llevarse a cabo rápidamente en un entorno de
10 combate con el fin de devolver el equipo dañado o inutilizado al servicio temporal.

En la patente estadounidense número 6527849 concedida a Dry, se dan a conocer muy ampliamente muchas soluciones para la reparación de artículos usando “vasos” (incluyendo pipetas, tubos, fibras y similares) en matrices que comprenden, entre otros, medios de hormigón y otros materiales incluyendo aquéllos que pueden incorporarse en
15 aviación, protésica y diversas áreas distintas. La descripción de Dry sugiere el uso de muchos materiales diferentes, enumerando casi cada material polimérico útil conocido en el momento de la solicitud de base como agentes de unión termoplástica o termoendurecible, de relleno y de reparación.

El documento DE 4 107 618 A1 describe un material compuesto que comprende fibras huecas en una matriz. Estas
20 fibras huecas están cerradas y contienen resina o agente de curado a presión. Cuando se produce una fractura, la resina y el agente de curado se fuerzan a salir mediante la presión, y reaccionan para cerrar la fractura.

Se han llevado a cabo muchos experimentos para el desarrollo de la presente invención, y se ha encontrado que la colocación de tales materiales tal como se mencionan en Dry en fibras huecas ha dado como resultado el fallo repetido
25 de que cualquier fluido que se coloca en tales fibras no mana espontáneamente desde la fibra cuando se fractura una fibra. Esto se ha producido un número de veces suficiente durante el experimento como para no considerar que se debe solamente a la casualidad. En las figuras 1 a 8 de los dibujos adjuntos se muestran, como imágenes fotográficas, se ilustran los resultados de dos de los experimentos que se llevaron a cabo. Tal como puede observarse a partir de la figura 1, el objeto de los experimentos fue una estructura 10 de material compuesto tejido preformado que está
30 formado por fibras 10A de urdimbre y fibras 10B de trama, extendiéndose las fibras de trama de manera transversal de izquierda a derecha en la figura 1. En ambos casos, se formó el cuerpo incrustando el material textil de fibra hueca en una matriz de resina circundante para observar directamente el efecto de fractura de fibra tal como podría comportarse en una estructura rígida. El material textil se formó completamente por estratos de fibras de vidrio huecas tejidas de diámetro externo de 10 - 12 micras y diámetro interno de 5 - 7 micras, rellenándose todas con un material líquido
35 coloreado en forma de agua pura que tenía un agente colorante proporcionado por un colorante alimentario comercial añadido a la misma. El experimento en sí se realizó a temperatura ambiente.

Se usó un instrumento afilado proporcionado por una boca 12 de destornillador para perforar la estructura de material compuesto y para romper al hacerlo algunas de las fibras de la misma. La rotura de las fibras puede observarse
40 en la figura 2; se insertó la boca en la estructura y luego se retiró inmediatamente, habiendo fracturado las fibras de la estructura. Cuando se retiró la boca del destornillador de la estructura, se fotografió inmediatamente la estructura, tal como se muestra en la figura 3, y luego se mantuvo bajo observación durante varios minutos; se encontró que, en ningún momento, nada del fluido coloreado dentro de las fibras de la estructura exudó de las fibras. Se fotografió la estructura al final de un periodo adicional de aproximadamente diez minutos y el estado de la estructura al final de
45 ese periodo puede observarse en la fotografía de la figura 4 en la que la rotura de las fibras es visible en 14, siendo la rotura claramente visible a partir del reflejo de luz de las partes rotas de las fibras. Después se realizó la observación de la estructura durante un periodo adicional de una hora tras haberse perforado la estructura y en ningún momento se detectó ningún cambio con respecto a la figura 4 ni se observó que manara nada de fluido desde los extremos rotos de las fibras. En experimentos posteriores se encontró también que cambiar la longitud de la fibra en una estructura de este
50 tipo no tenía ningún efecto sobre el resultado final y que, a cualquier longitud de fibra, no se observaba percolación ni exudación de fluido desde una fibra rota.

En las figuras 5, 6, 7 y 8 se muestran fotografías que ilustran resultados similares pero con fibras huecas “cerradas”, lo que quiere decir fibras que están selladas en cada extremo. De nuevo, en la figura 5, tal como puede observarse,
55 se usó un panel de material compuesto de fibra hueca tejido, que comprendía estratos de fibras huecas entretrajadas similares a aquéllos a partir de los que se formó la estructura mostrada en las figuras 1 a 4. Sin embargo, en este caso, se introdujo fluido en todas las fibras y luego se sellaron los extremos abiertos de las fibras. Luego se realizó una operación similar a la descrita con referencia a las figuras 1 a 4 y se observaron los resultados. En la figura 6, se muestra el acto de dañar algunas de las fibras; luego se retiró inmediatamente la boca de destornillador y en la figura
60 7 puede observarse de nuevo el resultado. En ningún momento se observó que manara fluido desde las fibras. Al igual que en el ejemplo ilustrado en las figuras 1 a 4, se dejó el panel durante un periodo de aproximadamente diez minutos y después se tomó una fotografía adicional, mostrada en la figura 8, que indicaba que no hubo ningún cambio con respecto a lo que se observó inmediatamente después de la rotura de las fibras.

65 Habiendo observado los resultados obtenidos, se repitieron los experimentos con ambos tipos de velos, pero con una composición de resina epoxídica de un componente y después con una composición de resina de cianoacrilato rellenando las fibras huecas, coloreándose cada composición con un colorante apropiado. En ningún caso se consiguió ningún resultado que fuera diferente de los mostrados en las figuras 1 a 8.

Por tanto, como medio para efectuar reparaciones en estructuras tales como cualquier parte de un avión, en las que es crítica la rápida reparación de cualquier defecto, debe considerarse que no puede confiarse en la puesta en práctica de las soluciones sugeridas propuestas por la descripción de Dry. Es esencial, cuando existe una posibilidad muy alta de fallo que puede conducir a situaciones potencialmente mortales, que se minimice cualquier riesgo de este tipo. Es esencial, al contemplar sistemas de autorreparación para aviación, por ejemplo, que no pueda haber ningún riesgo de fallo y que deba garantizarse el 100% de fiabilidad.

Por consiguiente, aunque puede considerarse que Dry da a conocer los principios generales del uso de vasos para colocar agentes “de modificación” *in situ*, no contiene orientación alguna con respecto a la manera de tal uso o los parámetros que rodean a tal uso, excepto porque, en relación con una realización que usa solamente una fibra sellada, específica diámetros externos de hasta 100 micras. En todas las demás realizaciones, los vasos son de tamaño no especificado y por tanto pueden incluir conductos así como fibras, capilares, pipetas, tubos y similares. De manera similar, las proporciones y cantidades de los denominados agentes están completamente ausentes en la descripción de Dry al igual que lo está tal información habilitante tal como viscosidad, temperatura y otros parámetros, que puede ser crítica.

El trabajo de Dry se ha notificado de manera extensa en “Alteration of matrix permeability, pore and crack structure by the time release of internal chemicals” (publicado en Proc. Advances in Cementitious Materials, American Ceramic Society, Gaithersbury, Maryland, EE.UU., 1990 págs. 729-768).

“Smart materials which sense, active and repair damage; hollow porous fibers in composites release chemicals from fibers for self-healing, damage prevention, and/or dynamic control” (artículo presentado en la 1st European Conf. on smart structures y materials (1ª Conferencia Europea sobre estructuras y materiales inteligentes), Glasgow 1992, 367, Sesión 11). El artículo notificaba el uso de fibras de polipropileno y fibra de vidrio porosa hueca recubierta y la reparación de fibras usando esas técnicas.

La reparación implicaba:

1. Unión a través del cambio de las dimensiones de las fibras al estirar forzando así a salir los productos de relleno.
2. Remoción del recubrimiento de fibras debido a las cargas de tracción.
3. Rotura de fibras huecas liberando así productos químicos.

El fin de las fibras era arrojar materiales que evitaran la corrosión.

“Smart Materials for sensing and or remedial action to reduce damage to materials” (Proceedings ADPA/AIAA/ASME/SPIE conference on active materials and adaptive structures (Procedimientos ADPA/AIAA/ASME/SPIE, conferencia sobre materiales activos y estructuras adaptativas), sesión 11, 1992, 191-4). Este artículo trataba el uso de recubrimiento de cera sobre fibras porosas. Para liberar el contenido de las fibras, es decir, los productos de relleno, las fibras se calientan para fundir la cera.

“Passive smart materials for sensing and actuation” (Journal of Intelligent Materials Systems and Structures, 4 de julio de 1993, 420-425). Este artículo especulaba sobre la reposición de productos de relleno usando bombas de vacío para arrastrar productos químicos a través de fibras porosas, que luego percolan hacia fuera de la pared porosa cuando se interrumpe el vacío. El artículo menciona también el uso de alimentación por gravedad de materiales anticorrosión a través de fibras huecas en la matriz que rodea el sitio de corrosión, y “electricidad para dirigir productos químicos iónicos desde las fibras huecas de metal hasta la matriz”.

“Smart multiphase composite materials which repair themselves by a release of liquids which become solids” (SPIE, 2189, 1994, 63-70) (SPIE es la “Society of Photo-optical Instrumentation Engineers” (Sociedad de Ingenieros de Instrumentación Foto-óptica). El artículo trata el uso de prismas de cemento con fibras de refuerzo de metal y pipetas de vidrio que contienen colorante y medio de reparación. El reenlace de fibras es según SPIE 1916/439, 1996 que se menciona a continuación.

“Matrix cracking repair and filling using active and passive modes for smart timed release of chemical from fibers into cement matrices” (Smart Materials and Structures 3(1994)118-123). La descripción es según J.Intell, Mats.Systems and Structures, 4, 420, 1993 que se mencionó anteriormente. En el procedimiento descrito, para reparar grietas en estructuras de cemento, se funde un recubrimiento de cera que encierra fibras porosas y se libera metacrilato de metilo (MMA), y luego se polimeriza por calor. Se usó vacío para arrastrar el MMA a través de las fibras huecas, y luego se notificó que la liberación del vacío permitió que el agente de reparación exudara a través de los poros de la pared de fibras.

“Adhesive liquid core optical fibers for crack detection and repairs in polymer and concrete matrices” (SPIE-volumen-244, 410-413,1995). Este artículo notificaba la investigación en el uso de fibras de núcleo líquido para la transmisión de luz para el fin de detección de fallos y autorreparación usando en realidad capilares y tubos aunque éstos se notifican como fibras. Dry usó un “tubo de fibra de vidrio” con adhesivos líquidos y una fuente de láser en

un extremo con un diodo en el otro extremo para medir la transmisión de luz. Se notificó que, con “fibras de tipo no capilar más grandes” el líquido depositado en la parte del fondo del vaso transmite una luz más viva que la parte rellena con aire.

- 5 “Three-part methylmethacrylate adhesive system as an internal delivery system for smart responsive concrete” (Smart Materials and Structures, 5 (1996) 297-300). En el trabajo notificado, se usó un metacrilato de metilo de 3 componentes (MMA:hidroperóxido de cumina:neodecanoato de Co - 100:4:2) que se afirma que es más estable que otros materiales. Se usaron una mezcla de Co/MMA y el peróxido para rellenar (separar) huecos cilíndricos en el hormigón. Las superficies de las paredes cilíndricas se recubrieron con un sellante impermeable, y, cuando se
10 sometieron a tensión, el sellante se agrietaría permitiendo que los productos de relleno gotearan hacia fuera.

“Passive smart self-repair in polymer matrix composite materials” (SPIE, 1916, 438-444, 1993. Se notificaron dos diseños pasivos de “liberación en el tiempo”, concretamente:

- 15 a. cargas de tracción o flexión que rompen la fibra hueca provocando que libere el producto químico de liberación;
b. carga de tracción que provoca la separación de la fibra de reparación de su recubrimiento.

- 20 Dry usó un único vaso de vidrio hueco en un material de matriz. Sin embargo, ha de enfatizarse que el ensayo notificado era un ensayo pasivo, lo que quiere decir que cualquier rezumado de material desde una fibra, que se cree que ha sido una fibra autocontenida de muy corta longitud, incrustada dentro del material de matriz, habría sido sin ejercer ninguna influencia externa distinta de la aplicada mediante cualquier cambio químico en la propia matriz.

- 25 “Procedures developed for self-repair of polymer matrix composite materials” (Composite Structures 35 (1996) 263-269).

- Se incrustó una única fibra de reparación en una matriz polimérica para evaluar la liberación del producto químico de reparación. El artículo trata entonces pipetas que se rellenan mediante vacío con resinas epoxídicas de 2 componen-
30 tes en un sistema de resina para ensayos de impacto. Se realizaron ensayos de flexión sobre pipetas de vidrio rellenas de cianoacrilato para limitar el crecimiento de grietas. Dry parece no hacer distinción entre pipetas y fibras.

- “A novel method to detect crack location and volume in opaque and semi-opaque brittle materials” (Smart Materials and Structures, 6, (1997) 35-39). Las fibras son capilares de 0,8 mm (es decir, 800 μm) de diámetro interno. Sin
35 embargo, Dry no confirma si las fibras están incrustadas en realidad en la propia matriz. Además del trabajo realizado por Dry, otros investigadores han notificado investigaciones en el campo de la autorreparación.

- Li *et al.* han notificado en “Feasibility study of a passive smart self-healing cementitious composite” (Composites Parte B 29B (1998) 819-827), sobre el tema del uso de cianoacrilatos en fibras incrustadas en una matriz cementosa.
40 Se usaron dos tipos de “fibras”, concretamente, fibras a medida de 500 micras de diámetro (espesor de pared de 60 m micras) y fibras comerciales usadas para aplicaciones médicas (micropipetas de toma de muestra de sangre).

- Zako *et al.* han notificado en “Intelligent material systems using epoxy particles to repair microcracks and delamination damage in GFRP” (J.Intell. Mats.Systems and Structures, 10,863,1999) el uso de partículas de resina epoxídica termoplásticas incrustadas en una matriz de resina epoxídica de endurecimiento en frío para calentar el material para
45 efectuar el flujo del material termoplástico de reparación para reparar el daño.

- Motoku *et al.* han notificado en “Parametric studies on self-repairing approaches for resin infused composites subjected to low velocity impact” (Smart Materials and Structures, 8 (1999) 623-638) el uso de materiales compuestos a base de material textil de vidrio S2 tejido con fibras huecas para la autorreparación. Se usaron tubos de vidrio, cobre y aluminio como “fibras” de reparación. Se usaron diámetros de 1-1,6 mm y solamente los tubos de vidrio fueron
50 satisfactorios en la autorreparación.

- Kessler y White han notificado en “Self-activated healing of delamination damage in woven composites” (Composites Parte A, 32 (2001)683-699) la investigación de la auto-unión materiales compuestos tejidos. En este caso el enfoque era el uso de monómero en microcápsulas dispersas por toda la matriz de resina. El concepto es que el daño rompe las cápsulas y el monómero (díciclopentadieno) fluye hacia fuera y se polimeriza al contacto con un catalizador a base de rutenio (catalizador de Grubb) también dispersado dentro del material de matriz.

- 60 Bleay *et al.* notificaron en “A smart repair system for polymer matrix composites” (Composites A 32 (2001) 1767 - 1776) el uso de fibras de vidrio huecas de material S2 Hollex y 24 capas de resina ACG [0,90] y [+/-45,0,90] para formar un material laminado de 6,5 mm de espesor. Las fibras Hollex eran huecas teniendo un diámetro interno de 5 micras. Bleay notificó haber rellenado de manera satisfactoria las fibras con el uso de ayuda de vacío. Los productos de relleno usados incluían adhesivos de 2 componentes (resinas epoxídicas). Entonces se aplicó un impacto de 80 J; se usaron tratamientos para extraer la resina y endurecedor. Los tratamientos se aplicaron durante 1 hora a 60°C,
65 concretamente aplicación de un vacío alrededor del sitio de impacto, calentando hasta 60°C, luego aplicación adicional del vacío. Bleay notificó aparentemente que, a temperatura ambiente, el rellenado de fibras con todas las resinas no era satisfactorio, el tratamiento a temperatura inferior (3°C) no era satisfactorio y que el uso tanto de una resina epoxídica

de dos componentes (LY5120) como de una resina epoxídica de dos componentes de menor viscosidad (MY750) no eran satisfactorios. Cuando la temperatura ambiente se aumentaba hasta 60°C para reducir la viscosidad, se observó solamente una captación muy leve de las resinas en las fibras. Con la adición de acetona al 40% en peso se consiguió cierto éxito, diluyéndose tanto el endurecedor como el acelerador.

Pang *et al.* notificaron en “Bleeding Composites - Damage detection and self-repair using a biomimetic approach” (Composites Science and Technology (2002). (En prensa)) el uso de fibras de vidrio huecas de 60 micras de diámetro (fracción hueca del 50%) en una matriz de resina epoxídica, junto con fibras de vidrio E convencionales (sólidas). Se usaron resina no curada y endurecedor y colorante UV en las fibras huecas y se diluyeron los agentes de reparación con acetona. Se empleó infusión de película de resina para producir un preimpregnado del 62% de Vf. Las fibras sólidas son fibras comerciales de 12 micras de diámetro. Las fibras se rellenaron a través de infiltración a vacío tras el corte con sierra de diamante y limpieza ultrasónica con agua, y se sellaron los extremos de las fibras insertando manualmente la masilla de resina epoxídica en los extremos de las fibras. Tras el daño por impacto, se dejaron “unir” las muestras durante 24 horas a temperatura ambiente. Tales datos mecánicos tal como pueden recogerse muestran que el tiempo de almacenamiento afecta a la eficacia de unión aunque los autores afirman que esto puede deberse a que no se produce exudación debido al uso de la mezcla acetona-resina. Se indica que se estaban usando resinas modificadas posiblemente para reducir la viscosidad del material resinoso.

En consecuencia de la incapacidad aparente de las proposiciones existentes para satisfacer los requisitos de los solicitantes de sistemas rápidos, a prueba de fallos en los que pueda confiarse y que muestren muy poco riesgo de fallo, los solicitantes, que están interesados particularmente, pero no exclusivamente, en soluciones de autorreparación a prueba de fallos tal como se requieren en aviones de altas prestaciones han llevado a cabo una investigación independiente para abordar los requisitos particulares que acompañan a tales soluciones en el entorno de la ingeniería aeronáutica.

En la construcción de aviones modernos de altas prestaciones en particular, aunque no exclusivamente, se están desarrollando y usando paneles de revestimiento de avión que están formados por materiales de fibras que están incrustadas en una matriz de resina. El uso de tales materiales proporciona paneles que, según las fibras seleccionadas, proporcionan estructuras ligeras que pueden conferir varias propiedades y características al avión resultante.

Estando formados predominantemente por fibras y sometidos a los mismo esfuerzos y tensiones que estructuras similares formadas por materiales más convencionales tales como metales, aleaciones de metal y similares, existe la posibilidad siempre presente de que una estructura a base de fibras pueda agrietarse o fracturarse o dañarse debido al impacto de, en el caso de un avión, un objeto en el aire tal como un pájaro en vuelo. El daño en un panel del ala de un avión puede ser superficial o puede incrustarse más profundamente dentro de ese panel, y puede desarrollarse más gravemente antes de que se observe. Esto es particularmente cierto con respecto a la posibilidad de delaminación.

Por tanto, es un objetivo de la presente invención proporcionar un enfoque significativamente más fiable para la autorreparación de estructuras que son predominantemente a base de fibras.

La presente invención proporciona, en un aspecto, una estructura que comprende una pluralidad de fibras que están ensambladas para formar un cuerpo compuesto, comprendiendo la pluralidad de fibras una pluralidad de series de fibras huecas, de las que al menos una, primera, serie de fibras huecas puede conectarse a un depósito de una composición de adhesivo fluida de un componente desde el que puede suministrarse la composición de adhesivo a presión a la primera serie de fibras huecas, mediante lo cual, en el caso de que se produzca daño en la primera serie de fibras, se libera la composición de adhesivo a presión desde la primera serie en el punto de daño para permitir el curado de la composición y el sellado del daño.

Las fibras pueden ensamblarse en una disposición tejida, reticulada, plegada, trenzada o en malla para formar dicho cuerpo compuesto. Con una disposición de este tipo, las fibras pueden proporcionar material textil que puede usarse para muchos fines diferentes en los que una rápida autorreparación no solamente sería deseable, sino que proporcionaría una seguridad esencial en el uso. Un ejemplo de cuándo sería útil tal material es en la fabricación de paracaídas.

En otra estructura según la presente invención, la pluralidad de fibras huecas puede ensamblarse para formar un cuerpo compuesto en el que las fibras están al menos parcialmente incrustadas y unidas entre sí en una matriz, preferiblemente de material de resina. El cuerpo se forma colocando las fibras huecas en una o más series paralelas en la matriz de material de resina.

Tales estructuras en las que fibras están incrustadas en material de resina tienen la rigidez y resistencia adecuadas para la producción de paneles de cuerpo de vehículos tal como pueden usarse en la fabricación de aviones, vehículos terrestres y barcos.

Una composición de este tipo, tal como puede usarse, puede ser una composición curable aeróbicamente o una composición curable anaeróbicamente dependiendo de la función de la estructura y de dónde, dentro de la estructura, estén ubicadas las fibras que portan el fluido. Cuando, por ejemplo, el fluido se porta en fibras próximas al exterior de la estructura, la composición de adhesivo es de manera ideal una composición curable aeróbicamente mientras que, si la fibra se coloca de manera profunda dentro de una estructura de este tipo, y no está expuesta libremente a la

ES 2 323 386 T3

atmósfera, entonces una composición curable anaeróbicamente es más ventajosa. Sin embargo, mientras que con una composición aeróbica la presencia de aire ambiental, u oxígeno, es esencial para el curado, pueden usarse también composiciones anaeróbicas próximas a la superficie de una estructura según la invención.

Adhesivos aeróbicos adecuados que se han estudiado son

- Resinas de cianoacrilato a base de disolventes volátiles (es decir “superpegamentos”) que incluyen monómeros de resina de cianoacrilato de baja viscosidad, bajo punto de fusión [por ejemplo 1,1'-bis(cianato-feniletano) (nombre comercial - AroCy L-10 de Ciba-Geigy Corp.); p.f. = 29°C] y otros monómeros de cianoacrilato mezclados con esto.

- Sistemas de siloxano de curado por humedad.

- Sistemas de uretano de curado por humedad.

- Compuestos termoestables.

éstos incluyen compuestos acrílicos (resina acrílica de un componente Permabond 581), resinas alquídicas, resinas de amino, bismaleimidas, resina epoxídica, furano, compuestos fenólicos, poliimidas, poliésteres insaturados, poliuretanos y ésteres de vinilo.

- Monómeros de vinilo curados térmicamente (por ejemplo estireno)

- Resinas epoxídicas curables por radiación. Éstas incluyen

sistemas de resina epoxídica de un componente que pueden curarse usando radiación de microondas (las resinas epoxídicas convencionales pueden curarse usando radiación de microondas),

sistemas termoendurecibles curables por microondas,

sistemas de resina epoxídica curables por UV,

sistemas de resina de uretano curables por UV,

sistemas de tiol-eno (en los que el entrecruzamiento se produce entre el tiol y los compuestos eno mediante exposición a radiación UV).

La velocidad de curado puede adaptarse mediante la elección de los reactivos. (Por ejemplo, la reacción de pentanotiol y sulfuro de n-butil-vinilo es muchos órdenes de magnitud más rápida que la reacción de pentanotiol y acrilonitrilo.

Sistemas de resina acrílica curables por radiación

- Formas aeróbicas de resinas acrílicas pueden inhibirse por el oxígeno atmosférico, conduciendo así a productos curados sólo parcialmente que se adhieren escasamente a los sustratos. Por tanto, se prefieren los otros tipos de adhesivos aeróbicos citados anteriormente.

De la gama de composiciones de adhesivo anaeróbicas, se seleccionan

- resinas de cianoacrilato a base de disolventes volátiles (es decir “superpegamentos”), que incluyen monómeros de resina de cianoacrilato de baja viscosidad, bajo punto de fusión [por ejemplo 1,1'-bis(cianato-feniletano) (nombre comercial- AroCy L-10 de Ciba); p.f. = 29°C] y otros monómeros de cianoacrilato mezclado con esto. Cianoacrilatos adecuados son el superpegamento de uso general Permabond, superpegamento antigoteo, superpegamento ultrarrápido, superpegamento de alta temperatura 200°C y superpegamento Bostik.

- Compuestos termoestables tales como compuestos acrílicos, resinas alquídicas, resinas de amino, bismaleimidas, resina epoxídica, furano, compuestos fenólicos, poliimidas, poliésteres insaturados, poliuretanos y ésteres de vinilo.

- Monómeros de vinilo curables térmicamente (por ejemplo estireno).

- Resinas epoxídicas de un componente tales como “Epofix” de Struers, Loctite Durabond,

- Resinas epoxídicas curables por radiación.

- Éstas incluyen sistemas de resina epoxídica de un componente que pueden curarse usando radiación de microondas (las resinas epoxídicas convencionales pueden curarse usando radiación de microondas), resina

ES 2 323 386 T3

epoxídica curable por UV. Resina epoxídica curable por UV. Resina de uretano curable por UV. Sistemas de tiol-eno en los que el entrecruzamiento se produce mediante exposición a radiación UV. La velocidad de curado puede adaptarse mediante la elección de los reactivos. (Por ejemplo, la reacción de pentanotiol y sulfuro de n-butil-vinilo es muchos órdenes de magnitud más rápida que la reacción de pentanotiol y acrilonitrilo).

- Acrilatos curables por haz de electrones
- Resina epoxídica curable por microondas
- Resina de uretano de “un componente” Fast Cure Auto Glass (nombre comercial) de 3M
- Compuestos termoestables tales como compuestos acrílicos, resinas alquídicas, resinas de amino, bismaleimidas, resina epoxídica, furano, compuestos fenólicos, poliimidas, poliésteres insaturados, poliuretanos y ésteres de vinilo. [Resina acrílica de un componente Permabond 581]
- La propia composición puede estar en forma de una pasta o en una forma más o menos viscosa en la que puede fluir fácil y libremente dentro de las fibras. Cada una de las composiciones de adhesivo mencionadas anteriormente que contiene materia finamente particulada (orgánica y/o inorgánica) tal como nanopulvo de carbono, nanofibra y fibra fina de carbono, fibra y polvo de nanosílice puede utilizarse en forma de una pasta que es suficientemente fluida de modo que puede introducirse en las fibras. También pueden usarse calcogenuros inorgánicos fluorescentes tales como sulfuro de zinc, telururo de zinc, sulfuro de cadmio y telururo de cadmio, incluyendo con un recubrimiento protector de sílice (que mejora su estabilidad en un entorno húmedo), tal como se suministra por Evident Technologies, NY.

Algunas composiciones de adhesivo están disponibles en forma líquida, incluyendo monómeros de vinilo líquidos (estireno) y monómeros de acrilato líquidos (metacrilato de metilo), resina epoxídica líquida, monómero de cianoacrilato líquido tal como 1,1'-bis(cianatofeniletano) (nombre comercial - AroCy L-10 de Ciba), cualquier adhesivo anterior que tiene un diluyente de disolvente.

La capacidad de la composición fluida para fluir hacia y desde las fibras está determinada por el diámetro interno de las fibras, por la viscosidad del fluido introducido en las fibras, la temperatura del fluido y la presión aplicada. Con fibras de un diámetro interno que entra dentro del intervalo de entre 2 micras y 20 micras tal como es típico de fibras usadas con la presente invención, los valores de viscosidad, temperatura y presión son críticos. Si el valor de viscosidad aumenta por encima de un valor de aproximadamente 1 N s m^{-2} (1000 cP), entonces el fluido no fluirá sin una presión excesiva que puede conducir en Si a la rotura de la fibra a través de la que fluye el fluido. En una estructura tal como puede requerirse en el fuselaje o ala de un avión, estos criterios son críticos y si no se evalúan correctamente, pueden ser potencialmente mortales. Las composiciones deben seleccionarse de modo que puedan liberarse a presión a altitudes superiores a 15.000 metros a la que tanto la temperatura como la presión externas son bajas en exceso.

La viscosidad de la composición de adhesivo fluida es preferiblemente inferior a aproximadamente 1000 cP por motivos de facilitar el llenado. Composiciones fluidas que pueden usarse en una estructura según la invención tienen de manera ideal viscosidades que son mucho más bajas. Por ejemplo, el metacrilato de metilo tiene una viscosidad a 25°C de $0,005 \text{ N s m}^{-2}$ (0,52 cP), mientras que el dimetacrilato de 1,3-butilenglicol tiene una viscosidad de aproximadamente $0,035 \text{ N s m}^{-2}$ (3,5 cP), el dimetacrilato de trietilenglicol una viscosidad de aproximadamente $0,075 \text{ N s m}^{-2}$ (7,5 cP) y la resina de cianoacrilato (AroCyL10) una viscosidad de aproximadamente $0,140 \text{ N s m}^{-2}$ (140 cP), todas a 25°C . Sin embargo, dependiendo del entorno en el que se utilice la composición de adhesivo, es posible usar fluidos con mayor viscosidad cuando se usa una fibra que tiene mayores diámetros internos, probablemente hasta 1 N s m^{-2} (por ejemplo, las resinas epoxídicas de baja viscosidad entran en el intervalo de (aproximadamente) $0,8 - 1,0 \text{ N s m}^{-2}$ (de 800 a 1000 cP).

Con fibras que tienen un diámetro interno de entre 5 y $10 \mu\text{m}$, el intervalo de viscosidad preferido para las composiciones de adhesivo fluidas es $<0,5 \text{ N s m}^{-2}$ (500 cP) para facilitar el llenado de las fibras. Esto permite usar no solamente monómeros de acrilato tales como metacrilato de metilo, dimetacrilato de 1,3-butilenglicol y dimetacrilato de trietilenglicol y resina de cianato AroCyL10, sino también monómeros de cianoacetato (viscosidad - $0,140 \text{ N s m}^{-2}$ (140 cP) a 25°C), monómeros epoxídicos y resinas epoxídicas diluidas y no diluidas.

Las estructuras adecuadas para construir el fuselaje y las alas de avión han de construirse de manera ideal a partir de fibras incrustadas que tienen un diámetro externo en el intervalo de aproximadamente 10 micras a aproximadamente 12 micras, y un diámetro interno en el intervalo de aproximadamente 5 a aproximadamente 7 micras. Si las fibras tienen diámetros internos y externos que son una magnitud mayores, entonces, en una estructura tal como se contempla por la presente invención, fibras más grandes pueden afectar a la resistencia e integridad estructurales del panel de fuselaje o ala.

Por tanto, la selección de materiales que pueden usarse tanto para las propias fibras como para las composiciones de adhesivo fluidas que portan es extremadamente importante.

ES 2 323 386 T3

Las propias fibras deben ser de una naturaleza, lo que quiere decir, hechas de un material que tenga propiedades mecánicas para resistir la presión del fluido bombeado dentro de las fibras pero que se romperá con un impacto tal como el que puede experimentarse durante el vuelo o cuando se le aplica un esfuerzo o tensión extraordinarios. Se ha encontrado que las fibras hechas de vidrio son las más adecuadas, aunque ejemplos de otros materiales que pueden usarse son material de fibra de carbono hueca y material de fibra de diamante hueca, así como materiales poliméricos tales como poliésteres (tereftalatos), poliamidas (nailon) y polienos (polietileno, polipropileno) siempre que tengan la resistencia requerida de tales estructuras. Si se requiere, los materiales poliméricos seleccionados pueden reforzarse con la provisión de, por ejemplo, material de nanofibra de carbono o similares. Cuando las fibras sólidas se utilizan dentro de la matriz de resina, éstas pueden estar formadas también por vidrio. Otro material de fibra sólida adecuado puede incluir material de fibra de carbono y materiales poliméricos tales como poliamidas, poliimidas, poliésteres, copolímeros y copolímeros de bloque (sometidos a la misma condición que para las fibras huecas hechas a partir de los mismos), vidrio E, vidrio S, fibra de diamante y vidrio de transmisión IR.

Se entenderá fácilmente que cualquier componente de la composición de adhesivo que se transporta por una fibra puede portarse por un portador volátil adaptado para evaporarse en el punto de fractura en una fibra. Por supuesto, es esencial que el portador volátil (que puede ser en sí un disolvente para el componente aunque esto no se ve favorecido ya que los disolventes pueden afectar de manera adversa a la capacidad y las características de unión de la composición de adhesivo) debe tener una velocidad de evaporación muy alta y que no debe interferir de ningún modo con la reacción química que tiene lugar entre los componentes de la composición de adhesivo.

Ejemplos de portadores volátiles incluyen

cetonas de bajo peso molecular (acetona, butanona),

éteres de bajo peso molecular (por ejemplo dietil éter, dipropil éter),

análogos halogenados de cetonas y éteres (preferiblemente análogos perfluorados tales como hexafluoroacetona),

alcanos de bajo peso molecular (por ejemplo propano, butano e isómeros y homólogos de los mismos) y sus análogos y homólogos fluorados y perfluorados (por ejemplo, perflorohexano),

alquenos de bajo peso molecular (por ejemplo propeno o buteno e isómeros y homólogos) y sus análogos y homólogos fluorados y perfluorados (por ejemplo, 3,3,3-trifluoropropeno),

compuestos aromáticos fluorados y perfluorados (por ejemplo hexafluorobenceno), y

ésteres de bajo peso molecular tales como formiato de metilo (p.e. = 34°C)

La elección del portador se determinará mediante su compatibilidad y miscibilidad con la composición de adhesivo. Por ejemplo, el uso de ésteres (por ejemplo formiato de metilo) como portadores sería adecuada para uretano (mediante lo cual la reacción se produce entre un poliol y un isocianato). Por otro lado, el formiato de metilo es también adecuado para mezclarse con monómeros de acrilato, mientras que los alcanos y alcanos fluorados son más adecuados para su uso con algunos monómeros de vinilo.

El requisito de una alta velocidad de evaporación es por supuesto esencial para la reparación de estructuras de avión en las que es esencial tanto la evaporación como el curado posterior de cualquier fractura que pueda conducir a una grieta más grande si no se sella rápidamente.

Cuando en las fibras huecas se utilizan composiciones de adhesivo termocurables o termoestables, puede ser ventajoso proporcionar calentamiento adicional para ayudar a acelerar el curado de la composición. Para este fin, las fibras adyacentes a las fibras huecas que portan la composición de adhesivo pueden proporcionar elementos de calentamiento que se extienden a través de las mismas. El elemento de calentamiento puede proporcionarse mediante elementos de calentamiento de hilo resistivo tales como cobre, níquel, aleaciones de níquel-hierro, (por ejemplo NIFETHAL 70 Y NIFETHAL 52 de Kanthal Global) hilo de carburo de silicio (de Kanthal Global), fibra de carbono recubierta de níquel (Thermion Systems) y fibra de carbono. Alternativamente a extender elementos de calentamiento a través de la matriz, pueden hacerse pasar fluidos calientes a través de la fibra hueca especializada (por ejemplo agua, aceites ligeros, etilenglicol y fluidos de silicona). Como fuente de calentamiento alternativa adicional, puede introducirse un hilo magnético que puede calentarse por inducción (por ejemplo hilo de hierro, hilo de cobalto, hilo de níquel, aleaciones de los mismos e hilos de otros materiales ferromagnéticos). Como alternativa adicional, las fibras huecas pueden contener un fluido que absorbe fuertemente microondas y de ese modo se calienta cuando el fluido utilizado está adaptado para absorber a una frecuencia distinta de la de la matriz circundante. Algunas composiciones de adhesivo tales como composiciones de resina epoxídica y de cianoacrilato son intrínsecamente exotérmicas cuando se curan y no necesitan calor adicional para efectuar el curado.

Con el fin de maximizar la funcionalidad de una estructura según la presente invención, en lugar de dedicar fibras específicas a funciones tales como calentamiento, las fibras que portan la composición de adhesivo o cualquier catalizador o acelerador o similares proporcionados para las mismas pueden recubrirse con un material eléctricamente

resistivo mediante lo cual, cuando se aplica un potencial eléctrico a las mismas, las fibras pueden calentarse. Pueden usarse materiales resistivos adecuados tales como cobre, níquel, aleaciones de níquel-hierro, (por ejemplo NIFETHAL 70 Y NIFETHAL 52 de Kanthal Global), carburo de silicio (de Kanthal Global), fibra de carbono recubierta de níquel (Thermion Systems), fibra de carbono y fibra de carbono metalizada para proporcionar tal recubrimiento. El recubrimiento puede ser interno o externo con respecto a la propia fibra hueca.

Cuando el recubrimiento es interno, puede formarse mediante cualquier técnica adecuada. Los materiales más adecuados para el recubrimiento son cobre, plata, estaño, cobalto, níquel, hierro y aleaciones de los mismos. Por supuesto, el criterio principal para la selección del recubrimiento interno es que no tenga ninguna interacción con ni efecto sobre cualquier composición de adhesivo que esté presente en o se utilice en la propia fibra.

Cuando las fibras están recubiertas en el exterior con el material de calentamiento eléctricamente resistivo, el criterio principal de tales recubrimientos externos es que no debiliten la integridad de la unión entre las fibras y el lecho de resina en el que están incrustadas. El recubrimiento puede proporcionarse por tanto mediante bandas de metalización a lo largo de las fibras en forma de recubrimientos metálicos tales como níquel, cobalto, cobre, aleaciones de níquel, aleaciones de cobre y aleaciones de cobalto/níquel así como mediante recubrimientos de carbono.

Como alternativa a o además de estas formas de calentamiento, también es posible proporcionar fibras adyacentes a las fibras huecas de la serie como fibras sólidas formadas por un material que tiene una resistencia eléctrica que proporciona elementos de calentamiento para calentar la composición de adhesivo. Cuando esto se considere apropiado, las fibras sólidas se proporcionan mediante, por ejemplo, elementos de calentamiento de hilo resistivo tales como cobre, níquel, aleaciones de níquel-hierro, (por ejemplo NIFETHAL 70 Y NIFETHAL 52 de Kanthal Global) hilo de carburo de silicio (de Kanthal Global), fibra de carbono recubierta de níquel (Thermion Systems) y fibra de carbono.

Por supuesto, se entenderá claramente que todas estas formas de calentamiento pueden utilizarse en combinación y que no son exclusivas entre sí.

Una composición de adhesivo tal como se usa en una estructura según la presente invención puede ser una composición curable por ultravioleta o radiación en la que la serie de fibras huecas está ubicada en o adyacente a una superficie externa de su estructura respectiva. Composiciones adecuadas son resinas epoxídicas curables por UV, resinas de uretano curables por UV y, tal como se mencionó anteriormente, sistemas de tiol-eno en los que el entrecruzamiento entre el tiol y el compuesto eno se produce mediante exposición a radiación UV.

Cuando, por ejemplo, se utilizan composiciones fuertemente exotérmicas en las fibras huecas de una serie, se considera como precaución de seguridad para evitar el sobrecalentamiento localizado proporcionar una segunda serie de fibras huecas estrechamente asociadas con la primera serie para portar fluido refrigerante al lado de las fibras en las que puede producirse una reacción exotérmica de este tipo. El agua pura se considera como el refrigerante óptimo, ya que ésta tiene la mayor capacidad calorífica conocida de los fluidos refrigerantes. Sin embargo, cuando, tal como en un avión por ejemplo, particularmente pero no exclusivamente en un avión comercial, se proporcionan sistemas de climatización, entonces la segunda serie de fibras puede acoplarse para inyectar fluidos refrigerantes tales como mezclas de glicol/agua enfriadas, salmuera enfriada, fluidos de transferencia de calor enfriados tales como siliconas sintéticas (por ejemplo tal como se suministran por Dow (DOWTHERM* SYLTHERM** DOWFROST* DOWCAL* UCARTHERM™).

Las series de fibras de una estructura según la presente invención pueden disponerse en capas al menos sustancialmente paralelas a las superficies principales de la estructura o pueden disponerse de muchos otros modos, dependiendo de la(s) función/funciones que realice la estructura. Por ejemplo, para evitar la detección por radar, las fibras que están asociadas con la impartición de tal funcionalidad pueden disponerse en series generalmente próximas a la superficie de la estructura. Las series de fibras que portan la composición de adhesivo se distribuyen entonces por todas estas capas hasta un grado que garantiza que la composición de adhesivo que se fuerza a través de las fibras en el caso de fractura alcance la extensión completa de la fractura y la cierre. Para este fin, la estructura puede diseñarse de modo que la composición de adhesivo que pretende usarse en tales sectores o regiones de la estructura emula las características de los materiales portados por las fibras que realizan esas otras funciones. Por tanto, por ejemplo, cuando las fibras pretenden usarse para portar fluidos que afectan a la firma radar de la estructura, entonces la composición de adhesivo que se suministra a esa parte de la estructura puede imbuirse por sí misma de propiedades similares de modo que, en el caso de fractura, se usa una composición de adhesivo que tiene propiedades similares para sellar y reparar la fractura.

Claramente, una estructura según la presente invención incluiría de manera ventajosa medios detectores para detectar cualquier fractura en una fibra, proporcionándose los medios detectores mediante una serie de fibras adicional intercalada con dicha primera serie de fibras huecas. Para este fin, puede utilizarse por toda la estructura una fibra eléctricamente conductora que experimenta cambio en la resistencia con el daño (o bien un cambio en la resistencia como resultado del daño que provoca un cambio en el área transversal o fractura parcial o un efecto de circuito abierto tras fractura total) para detectar cualquier deformación, cambio de la presión mecánica en el entorno local o una fractura en la estructura. Los medios detectores pueden incluir fibras eléctricamente conductoras que serán de plata, oro, cobre, estaño u otros metales altamente conductores, o de fibra de carbono, o fibra hueca metalizada en el interior que puede usarse para calentamiento resistivo, por ejemplo plata, cobre, estaño, níquel, cobalto, aleaciones de Ni/Co). También pueden usarse para el mismo fin elastómero de efecto túnel (QTC) o materiales piezoeléctricos (por ejemplo, como recubrimientos sobre fibras) o materiales triboluminiscentes. También se prevé por la presente invención que

puedan usarse por ejemplo enfoques fotónicos y de guiado mediante haces luminosos para detectar la aparición de una fractura.

Algunas fibras individuales pueden recubrirse con material eléctricamente conductor que puede elegirse de fibra hueca metalizada de alta conductividad eléctrica (por ejemplo, plata o cobre, estaño, QTC, níquel, cobalto, aleaciones de cobalto/níquel, aluminio y muchos otros metales).

Al menos una de las dos partes de la composición de adhesivo puede colorearse para fines de identificación. Ejemplos de agentes colorantes adecuados son materiales de carbono nanoparticulados tales como nanofibra de carbono o nanotubos de carbono o buckybolos; compuestos nanoparticulados fluorescentes y coloreados de la combinación de elementos del grupo IIb y el grupo VIb tales como sulfuro de zinc, seleniuro de zinc, telururo de zinc, sulfuro de cadmio, seleniuro de cadmio, telururo de cadmio, seleniuro de mercurio, etc. y ejemplos de éstos en los que las nanopartículas tienen un recubrimiento de sílice para mejorar la estabilidad frente a la humedad; pigmentos orgánicos e inorgánicos usados comúnmente en las industrias textil y de pinturas incluyendo colorantes acrílicos coloreados (por ejemplo PDI 22-88032, colorante negro de baja viscosidad disponible de "Ferro"); y colorantes líquidos tales como SPEGTRAFLO® (Ferro); y colorantes acrílicos CHROMA-CHEM®.

La composición de adhesivo puede seleccionarse por sí misma de composiciones de adhesivo que experimentan un cambio de color al curarse. Composiciones de adhesivo específicas que se han considerado son por ejemplo adhesivos Light Cure suministrados por 3M Corporation, composiciones de adhesivo que se curan por luz UV/visible que incorporan colorantes fotocrómicos tales como fulgidas y particularmente los compuestos de tiofulgida heteroaromáticos estables tal como se describen por Heller *et al* (Chem. Comm. 2000, 1567-1568) que pueden ajustarse para reaccionar a la longitud de onda de la radiación necesaria para efectuar el curado del adhesivo.

La presente invención también proporciona un avión que comprende una estructura de avión, medios motrices montados en la estructura de avión para impulsar el avión y un revestimiento fabricado que encierra la estructura de avión, estando formado el revestimiento fabricado por una pluralidad de paneles, cada uno de los cuales se proporciona mediante una estructura según la presente invención.

La presente invención también proporciona un método de reparación de una fractura en una estructura formada por una pluralidad de fibras dispuestas para formar un cuerpo compuesto, incluyendo la pluralidad de fibras series de fibras huecas, de las que al menos una, primera, serie está conectada a al menos un depósito de una composición de adhesivo de un componente en forma fluida, y estando distribuidas las fibras huecas de la primera serie entre fibras de la(s) otra(s) serie o series, mediante lo cual, en el caso de fractura de cualquier fibra, puede liberarse composición de adhesivo para unir las partes fracturadas de las fibras, comprendiendo el método las etapas de rellenar las fibras seleccionadas con una o más de las composiciones de adhesivo a presión, y mantener la composición a presión de modo que la composición de adhesivo puede liberarse en un punto de fractura para sellar tal fractura mientras que se mantiene el flujo de fluido a través de la fibra. Se ha encontrado que la presión mínima que ha de aplicarse al fluido en una fibra para provocar que el fluido fluya desde la fibra en un punto de fractura puede ser de tan sólo algunos miles de Pascales.

Ahora sigue una descripción detallada, que debe leerse en referencia a las figuras 9 a 21 de los dibujos adjuntos, de métodos y estructuras según la presente invención que se han seleccionado para la descripción para ilustrar la invención a modo de ejemplo, aunque no a modo de limitación.

Por tanto, en referencia a las figuras 9 a 21:

las figuras 9 a 13 son imágenes fotográficas que ilustran una estructura experimental según la presente invención;

las figuras 14 y 15 son imágenes fotográficas que ilustran una estructura experimental adicional según la presente invención;

la figura 16 es una vista desde un extremo de una parte de una estructura típica según la presente invención, que muestra diversas construcciones de fibras que pueden usarse en una estructura según la presente invención;

la figura 17 es una vista fotográfica desde un extremo a escala ampliada de una disposición de fibras experimental que comprende un conglomerado de más de 200 fibras dentro de una estructura tal como se muestra en la figura 7;

la figura 18 es un diagrama parcialmente esquemático que muestra la manera en la que pueden alimentarse materiales fluidos a y desde las fibras de una estructura según la presente invención;

la figura 19 es una ilustración esquemática que muestra la manera en la que una serie de fibras que utilizan composición de adhesivo pueden acoplarse a disposiciones de válvula y bomba para una estructura según la presente invención;

las figuras 20 y 21 son vistas en sección transversal axiales, cada una de una única fibra tal como puede usarse en una estructura o método según la presente invención.

En referencia en primer lugar a las figuras 9 a 13, ha de entenderse que estas imágenes ilustran el principio fundamental que subyace a la presente invención. Este principio fundamental se basa en el uso de presión que se aplica tanto para rellenar fibras de una estructura como para mantener esa presión sobre los fluidos en las fibras cuando se utiliza la estructura, ya sea como parte del ala o fuselaje de un avión o en cualquier otra utilización funcional. Tal como se explica a continuación, se aplica presión de manera ventajosa mediante un suministro presurizado del fluido. A pesar de todo el trabajo que se ha notificado y llevado a cabo en este campo, y que no hace ninguna referencia al uso de presión positiva, se ha encontrado que la presencia de presión positiva es crítica para asegurar y garantizar la utilización satisfactoria de materiales de adhesivo fluidos eficaces en fibras huecas tal como se usan en cuerpos compuestos a base de fibras contruidos predominantemente de fibras dentro del intervalo de tamaño contemplado por la presente invención. Sin la aplicación de presión, no es posible usar, de manera satisfactoria y fiable, composiciones de adhesivo de la consistencia que permitirá un curado rápido de sus componentes, debido a variaciones en la viscosidad de esos componentes cuando se someten a las restricciones de las condiciones ambientales (la falta de aplicación de presión también da como resultado la limitación del tamaño de cualquier reparación que pueda realizarse en la estructura). En otras palabras, cuando se aplica por ejemplo al ala de un avión en la que puede incorporarse una estructura según la presente invención, los cambios en la temperatura debidos a la variación en altitud del avión pueden tener un efecto considerable sobre la viscosidad de un fluido hasta el grado de que no puede garantizarse que fluya en esas condiciones ambientales o a una velocidad suficientemente predecible como para que la combinación de fluidos pueda ser acertada, sin la aplicación de presión a través de las fibras. Además, sin el uso de presurización de las composiciones fluidas, hay una tendencia de las composiciones de adhesivo a obstruir las propias fibras cuando se produce una fractura. Sin la aplicación de presión, las composiciones de adhesivo pueden comenzar a curarse cuando están dentro de las fibras en lugar de en el punto en el que se requiere el curado, concretamente en la pared de la fibra y en el exterior de la propia fibra. El uso de presión vence las dificultades que se han encontrado en la técnica anterior forzando la composición de adhesivo hacia el exterior de su fibra mientras que se permite todavía que la composición fluida fluya a través de la fibra más allá del punto de fractura.

Para demostrar la diferencia entre la técnica anterior y la presente invención, se llevaron a cabo experimentos usando un material textil tejido preformado similar al mostrado en las figuras 1 a 8.

Sin embargo, en comparación con los dos experimentos tratados anteriormente, el panel 10 tejido mostrado en las figuras 9 a 13 es en todos los aspectos materiales similar a al mostrado en las figuras 1 a 8 y tiene los extremos abiertos en cada extremo. Sin embargo, en este caso, los extremos de las fibras estaban conectados a una cámara 20, 22 cilíndrica en cada extremo proporcionándose un pistón 24 en la cámara 20 de modo que podría ejercerse presión sobre el fluido presente en la cámara. El pistón, o émbolo, estaba dispuesto de modo que la presión que podría ejercerse podría ajustarse para fines experimentales. Las fibras se rellenaron con agua purificada que incluía un agente colorante proporcionado por un colorante alimentario comercial que era igual al usado en las pruebas que se llevaron a cabo y se describieron con referencia a las figuras 1 a 8. Como con los experimentos realizados con disposiciones no presurizadas, tal como se trata con referencia a las figuras 1 a 8, se usó una punta de destornillador para romper las fibras del panel, tal como se muestra en la figura 9, mientras que la presión se ejerció simplemente mediante presión digital mediante el pistón 24. La punta del destornillador se retiró inmediatamente del panel 10 dejando una rotura 26 en el panel en el que las fibras se fracturaron, tal como se muestra en la figura 10. Tras menos de un segundo se observó que goteaba fluido de las fibras rotas tal como se muestra en la figura 11. Tras un periodo adicional de aproximadamente 0,5 segundos, se observó que el fluido que goteaba se había extendido a lo largo de toda la longitud del corte realizado con la punta del destornillador tal como se muestra en la figura 12, y después de eso, en el plazo de dos segundos de haber perforado con la punta del destornillador, se había formado una perla de material sobre la superficie del panel tal como se muestra en la figura 13.

Entonces se llevaron a cabo experimentos adicionales usando un panel similar al mostrado en las figuras 9 a 13 pero con una composición de resina epoxídica de un componente y después de eso con una composición de resina de cianoacrilato de un componente rellenando las fibras huecas, coloreándose cada composición de nuevo con un colorante apropiado. En cada caso, se logró un resultado similar al mostrado en las figuras 9 a 13.

En las figuras 14 y 15, se muestran dos fases en un experimento adicional llevado a cabo para establecer una prueba de concepto.

Un segundo panel, similar al mostrado en las figuras 9 a 13, se trató de una manera similar al panel de las figuras 9 a 13. Sin embargo, este panel se perforó en varios sitios, y no sólo una vez tal como se mostró en las figuras anteriores. Cada una de las ubicaciones en las que se fracturaron las fibras mediante una boca de destornillador se designa en 26.

En la figura 14, se realizaron dos incisiones iniciales en 26a y 26b que estaban espaciadas en la dirección de las fibras de trama, es decir, transversalmente a lo largo de la anchura del panel, y tal como puede observarse a partir de la figura 14, el fluido presurizado en las fibras, que era igual al que se usó en cada uno de los experimentos iniciales descritos con referencia a las figuras 1 a 13, goteaba desde los puntos de fractura tal como se observó en el experimento ilustrado en las figuras 9 a 13.

Entonces se fracturaron las fibras en rápida sucesión en 26c, 26d y 26e, y se separaron las fibras mediante la punta del destornillador escribiendo las letras "P" y "SW" sobre el velo tal como se muestra en 27.

En cada caso, el fluido coloreado manaba de las ubicaciones en las que se habían fracturado las fibras. Sin embargo, lo que debe indicarse es que aunque se hayan creado “aguas arriba” sitios de daño individuales, esto no afecta al hecho de que también mana fluido desde las mismas fibras aguas abajo de las fracturas iniciales, demostrando de ese modo que una estructura según la presente invención tiene la capacidad de continuar funcionando.

En la figura 16, puede observarse que la estructura mostrada en la misma comprende una pluralidad de fibras huecas dispuestas en estratos o capas 30. Predominantemente, las propias fibras son cada una de un diámetro externo en el intervalo de $10\ \mu\text{m}$ a $20\ \mu\text{m}$ excepto cuando se especifique de otra manera, y tienen un diámetro interno de entre $2\ \mu\text{m}$ y $16\ \mu\text{m}$, dependiendo del espesor de pared de la fibra. Tal como se muestra en la figura 10, que es una imagen fotográfica de una disposición experimental de tales fibras incrustadas en y mantenidas en su posición mediante resina epoxídica para formar un cuerpo compuesto de fibras incrustadas que, tal como puede deducirse a partir de la figura son de un diámetro externo en el intervalo de aproximadamente $10\ \mu\text{m}$ a $12\ \mu\text{m}$. Tal como puede observarse también a partir de la figura 17; la mayoría de las fibras son fibras huecas que tienen un diámetro interno en el intervalo de $5\ \mu\text{m}$ a $7\ \mu\text{m}$. Las fibras usadas experimentalmente pueden ser de dimensiones internas y externas variables, y se apreciará fácilmente que en la producción de estructuras comerciales según la presente invención, debería ejercerse un control sobre tanto los diámetros interno como externo para garantizar una mayor uniformidad cuando se requiera. Sin embargo, también debe apreciarse que, tal como se trata a continuación, no siempre es apropiado que todas las fibras sean de dimensiones internas y externas uniformes.

Las fibras huecas de una estructura tal como se muestra en las figuras 16 y 17 están formadas por vidrio que puede estar reforzado. También pueden usarse otros materiales, tal como se trató anteriormente, para formar las fibras siempre que permitan una unión fuerte con la resina circundante cuando se incrustan en la misma. Además de adecuarse a la resina, la propia resina, y quizá las fibras tienen también un grado de fragilidad que les permite fracturarse bajo cualquier tensión, esfuerzo o impacto tal como puede encontrarse cuando se usa en su entorno previsto. Por tanto, cuando se emplea una estructura de este tipo en el revestimiento de un avión, la propia estructura puede flexionarse en vuelo, especialmente cuando la estructura forma un panel del ala, y la estructura de fibras debe permitir tal flexión sin agrietarse o fracturarse en el plazo de un periodo de tiempo predeterminado. Sin embargo, cuando una estructura de este tipo se somete, por ejemplo, a un impacto, entonces, cuando tal impacto conduce a un daño, la estructura debe poder responder a ese daño en el punto de impacto.

Tal como se muestra en la figura 16, la estructura comprende fibras asociadas con diferentes funciones requeridas de la estructura, incluyendo el camuflaje. Entre esas fibras, y distribuidas uniformemente por toda la estructura, se encuentran series de fibras para la utilización de una(s) composición/composiciones de adhesivo de un componente, además de, o como alternativa a, el uso de cualquier otra funcionalidad. Tales fibras se indican en 32, portando una fibra 34 la composición de adhesivo mientras que una segunda fibra 36 puede portar un agente catalizador o un acelerador. Por tanto, a presión, la composición de adhesivo puede forzarse desde la fibra portadora en un punto de fractura y, si es necesario, puede combinarse en la región de la fractura con tal acelerador o catalizador para rellenar cualquier cavidad dejada por la fractura y cerrar de ese modo la pared de la fibra y endurecerla para sellar y reparar la fractura.

Se observará a partir de un estudio de la figura 16 que las fibras que portan la composición de adhesivo están espaciadas entre sí. No es esencial tener las fibras estrechamente adyacentes tal como se podrían tener con una disposición no presurizada en la que la confianza en un rezumado no presurizado requeriría que las parejas de fibras estuviesen más estrechamente espaciadas y, en consecuencia, las fibras de la estructura que no se emplean para la distribución de la composición de adhesivo pueden utilizarse para otras funciones. Con un sistema presurizado, la presión ejercida sobre los fluidos en las fibras puede provocar que los materiales fluidos dentro de las fibras se fueren para permear cualquier grieta o fractura que pudiera producirse adyacente al punto de fractura.

Para este fin, tal como se describe a continuación, las fibras están conectadas a depósitos de los fluidos de modo que cualquier migración de fluido a presión desde las fibras puede reponerse inmediatamente.

La composición puede ser una composición curable aeróbicamente o una composición curable anaeróbicamente.

Se han usado los siguientes denominados “superpegamentos” de un componente comercialmente disponibles (cada uno sin dilución) dentro de fibras huecas, Bostik Super Glue, Loctite Super Glue, Permabond Super 820 Glue. El intervalo de temperatura usado para rellenar las fibras y observar el daño y la reparación estaba en el intervalo de 20°C a 25°C .

El diámetro interno (DI) de las fibras estaba dentro del intervalo de $2\ \mu\text{m}$ - $4\ \mu\text{m}$. Al mismo tiempo que se llevaban a cabo experimentos con estos adhesivos y fibras, se realizaron experimentos satisfactorios adicionales usando fibras que tenían DI de $60\ \mu\text{m}$. La viscosidad de los adhesivos era inferior a $0,12\ \text{N m s}^{-2}$.

Una composición de adhesivo de un componente que puede utilizarse en una estructura según la presente invención puede ser, tal como se afirmó anteriormente, una composición termocurable o termoestable.

Un ejemplo de una composición de este tipo es estireno monomérico que contiene peróxido de dibenzofilo. Se rellenó un material compuesto de fibras huecas con una disolución de peróxido de dibenzofilo en monómero de estireno seco de modo que la concentración de resto peróxido estaba en exceso de $30\ \text{mg}$ por $1\ \text{ml}$ de estireno. Tras el daño al

material compuesto usando una punta de destornillador tal como se describió anteriormente, se observó que la muestra goteaba del material compuesto en el punto de daño.

Si van a utilizarse composiciones termocurables o termoestables, una fibra adyacente a una fibra que porta adhesivo puede proporcionar medios de calentamiento para calentar la composición para acelerar el curado o endurecimiento o bien en forma de un elemento 37 de calentamiento o bien en forma de un fluido de calentamiento, o, tal como se trató también anteriormente, la fibra que porta la composición de adhesivo puede estar recubierta por sí misma o bien en el interior o bien en el exterior con un recubrimiento resistivo que puede conducir la corriente y calentar la fibra y su contenido.

La propia composición puede colorearse para fines de identificación usando una gama de agentes colorantes o tintes registrados. Alternativamente, la composición puede seleccionarse de una composición de adhesivo que experimenta un cambio de color al curarse.

La distribución de las fibras por toda la estructura es tal que puede efectuarse una reparación en cualquier lugar dentro de la estructura con una concentración particular de las fibras en regiones de la estructura que son las más críticas. Por tanto, se entenderá que la figura 16 es sólo representativa de la presente invención y no indica necesariamente la disposición precisa de las fibras dentro de una estructura.

Las fibras 34 están conectadas, según la presente invención, a depósitos de composiciones de adhesivo y otros fluidos funcionales tal como se muestra en la figura 18. Las fibras se muestran en la figura 18 como dispuestas en tres series 38, 40 y 42 para el fin descrito a continuación.

El medio para rellenar y vaciar y reemplazar las composiciones de adhesivo fluidas y otros fluidos funcionales en las fibras, y para mantener esos fluidos a presión, se proporciona mediante sistemas presurizados proporcionados mediante unidades 44 de válvula que pueden ser o bien específicas para cada grupo de fibras o bien pueden ser específicas para cada composición, o ambos. Tal como se muestra en la figura 18, tales unidades de válvula se muestran como conectadas a series de fibras específicas. Los sistemas de presión comprenden además una pluralidad de unidades 46 de bomba que pueden suministrar componentes de fluido a partir de los depósitos 48 a las fibras 38, 40 y 42 bajo el control de dispositivos 50 detectores de la presión que están dispuestos para detectar cualquier cambio en la presión en las fibras. Las unidades 46 de bomba pueden controlarse por separado para suministrar composición fluida a las series de fibras asociadas y a cualquier presión que se requiera para efectuar ese suministro. Los detectores al lado de las fibras que portan composición fluida pueden determinar que se mantiene una presión requerida dentro de cualquier serie de fibras, y que se sostiene en caso de una fractura. Una, una tercera, serie de fibras puede servir para suministrar un acelerador o un catalizador o ambos al velo de modo que, a medida que las fibras se fracturan en cualquier ubicación, tal acelerador o catalizador puede liberarse en el punto de fractura para promover el curado de los componentes de la composición de adhesivo. Además de los depósitos de fluido que almacenan las composiciones de adhesivo, pueden proporcionarse depósitos adicionales (no mostrado) para diluir los componentes de fluido si es necesario. Cada uno de estos depósitos puede desacoplarse de las unidades de válvula y reemplazarse de modo que los componentes del mismo pueden reemplazarse o reponerse según se requiera para adecuarse a las circunstancias prevalentes. Idealmente, los depósitos 48 y las unidades 44 de válvula pueden desmontarse de las fibras tal como se explica con referencia a la figura 19.

La figura 19 es una vista esquemática que muestra la manera general en la que las unidades 44 de válvula y los depósitos 48 pueden acoplarse y desacoplarse de las fibras, y se explica con referencia a una única serie 38 de las tres series 38, 40 y 42 de fibras mostradas en la figura 18. Las fibras de la única serie 38 se empaquetan entre sí y se arrastran dentro de un bloque de resina curada que se monta en una carcasa 52. Esta carcasa 52 puede montarse en ajuste sellable con una carcasa 54 que encierra la unidad de bomba y la unidad de válvula asociadas (no mostrado) y pueden sujetarse a la misma mediante mordazas acodadas (no mostrado tampoco). La carcasa 54 está unida mediante una manguera 56 de entrada a un depósito apropiado (no mostrado) en el que se almacena la composición de adhesivo. Puede controlarse la temperatura del depósito para mantener la composición en un estado óptimo. El propio depósito puede desacoplarse de las unidades de bomba y válvula de modo que puede reponerse o reemplazarse cuando sea necesario y la unidad de válvula y la unidad de bomba pueden desensamblarse para fines de limpieza y mantenimiento. El uso de depósitos que pueden desacoplarse fácilmente de las fibras de una estructura tiene la ventaja sobre los sistemas de la técnica anterior de que hace que la estructura pueda reconfigurarse de modo que la estructura puede hacerse “específica para la misión”. Una ventaja adicional es que se evitan problemas con la “vida útil de almacenamiento” de las composiciones porque es posible usar materiales de depósito “conectables” “no caducados”. La estructura también es “recargable”. La capacidad de tener una disposición presurizada también podría promover el sellado de un sitio dañado sin bloquear necesariamente la arteria. El uso de múltiples fibras huecas de diámetro interno fino permite la redundancia.

Una alternativa al uso de bombas, microbombas o similares sería el uso de sistemas hidráulicos o neumáticos controlados de manera automática que podrían unirse a las fibras y ejercer presiones prefijadas sobre los fluidos en las fibras.

Tal como se mencionó anteriormente, la(s) composición/composiciones de adhesivo puede(n) colorearse individualmente de modo que pueden identificarse fácilmente. Alternativamente, pueden seleccionarse de aquéllas que, cuando se combinan, pueden cambiar de color para proporcionar una fácil identificación según se requiera.

Como alternativa adicional, pueden suministrarse agentes colorantes en fibras al lado de aquéllas que portan la composición de adhesivo de modo que, en el caso de fractura, pueden gotear hacia fuera para identificar el hecho y la ubicación de una fractura. El uso de diferentes colores en diferentes partes de la estructura puede permitir la ubicación de una fractura que ha de localizarse.

La coloración de los componentes puede tener una ventaja significativa en un sistema de autorreparación tal como se aplica a, por ejemplo, un avión, en el que puede producirse daño y es más probable que se produzca cuando el avión está en vuelo, y el daño se repara mientras el avión está en vuelo, evaluándose cuando el avión ha aterrizado. Aunque puede efectuarse la autorreparación con una estructura según la presente invención y realizarse un método según la presente invención, es esencial que deba indicarse el hecho de la propia autorreparación. La coloración ayuda a esto.

Pueden adoptarse otros medios para identificar la creación de una fractura en una fibra o grupo de fibras, incluyendo disposiciones magnéticas, eléctricas, electromagnéticas, electro-ópticas y ópticas que se han mencionado en la bibliografía.

Como alternativa al uso de fibras que portan la(s) composición/composiciones al lado de las fibras que portan agentes colorantes, catalizadores, aceleradores y similares, también se prevé dentro del alcance de la presente invención que puedan utilizarse fibras individuales dentro del material compuesto en el que cada fibra individual porta la composición *per se* mientras que la propia fibra está recubierta a lo largo de su exterior con el acelerador, catalizador, etc. Tal como se trató anteriormente, cuando se proporciona un recubrimiento sobre el exterior de una fibra, es esencial que no interaccione simplemente con el cuerpo de resina de cerramiento que encierra las fibras entre sí. Cuando ese cuerpo de resina está formado por resina epoxídica, existe la posibilidad de que o bien el acelerador o bien el catalizador interaccionen con el cuerpo de resina que, a medida que se forma la estructura, puede no estar perfectamente curado. Para este fin, el recubrimiento, ya sea el acelerador o el catalizador, se mezcla con un agente retardante que evita que el recubrimiento reaccione con el cuerpo de resina en el que se fija la fibra. Un ejemplo de una fibra de este tipo se muestra en la figura 20 en la que se muestra claramente la fibra en 58 y se indica el recubrimiento en 60.

Una fibra similar a la mostrada en la figura 20 se muestra en la figura 21, en la que además del recubrimiento 60 externo, la fibra está recubierta en el interior con un recubrimiento 62 metálico eléctricamente resistivo mediante el cual puede aplicarse calor a ambos componentes de la composición dentro de la fibra y al recubrimiento externo para acelerar el curado cuando se utiliza una composición termocurable o termoendurecible.

Se apreciará fácilmente a partir de la descripción anterior que el concepto de autorreparación de la presente invención puede aplicarse igualmente a la reparación de materiales textiles así como a cuerpos rígidos tales como paneles de aviones. Los materiales textiles pueden estar formados por fibras naturales y/o sintéticas y pueden incluir disposiciones de fibras dentro de los mismos o construirse a partir de fibras que portan capacidad de autorreparación. Por ejemplo, los materiales textiles de lana o seda, que son materiales a base de queratina, pueden incluir fibras huecas en los mismos que contienen queratina, que son cadenas polipeptídicas, en algunas de las fibras, y un agente de unión en fibras adyacentes de modo que en el caso de un desgarro en un material textil de este tipo, está disponible la capacidad de autorreparación. Cuando se usan fibras sintéticas o fabricadas por el hombre, entonces pueden incluirse fibras huecas que contienen fluidos de autorreparación apropiados. También es posible, dentro del alcance de la invención tal como se define mediante las reivindicaciones, crear materiales textiles completamente a partir de tales fibras huecas.

REIVINDICACIONES

1. Estructura que comprende una pluralidad de fibras que están ensambladas para formar un cuerpo compuesto, comprendiendo la pluralidad de fibras una pluralidad de series de fibras huecas, de las que al menos una, primera, serie de fibras huecas puede conectarse a un depósito de una composición de adhesivo fluida de un componente desde el que puede suministrarse la composición de adhesivo a presión a la primera serie de fibras huecas, mediante lo cual, en el caso de que se produzca una fractura en la primera serie de fibras, se libera composición de adhesivo a presión desde la primera serie en el punto de fractura para permitir el curado de la composición y el sellado de la fractura.

2. Estructura según la reivindicación 1, en la que la composición es una composición curable aeróbicamente.

3. Estructura según la reivindicación 1, en la que la composición es una composición curable anaeróbicamente.

4. Estructura según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en la que la composición está en forma de una pasta.

5. Estructura según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en la que la composición está en forma líquida.

6. Estructura según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, en la que la composición se porta por un portador volátil adaptado para evaporarse en el punto de fractura en una fibra.

7. Estructura según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, en la que cada una de las fibras huecas tiene un diámetro externo en el intervalo de hasta aproximadamente 100 micras.

8. Estructura según la reivindicación 7, en la que cada una de las fibras huecas tiene un diámetro interno en el intervalo de hasta aproximadamente 70 micras.

9. Estructura según la reivindicación 7 o reivindicación 8, en la que la viscosidad de la composición fluida está dentro del intervalo de menos de 1 N s m^{-2} .

10. Estructura según la reivindicación 7, en la que cada una de las fibras tiene un diámetro externo en el intervalo de aproximadamente 10 micras a aproximadamente 12 micras.

11. Estructura según la reivindicación 10, en la que cada una de las fibras huecas tiene un diámetro interno en el intervalo de aproximadamente 5 a aproximadamente 7 micras.

12. Estructura según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 11, en la que las fibras adyacentes a las fibras huecas de la primera serie de fibras son huecas y tienen un medio de calentamiento que se extiende a través de las mismas.

13. Estructura según la reivindicación 12, en la que el medio de calentamiento se proporciona mediante fluidos calentados en la fibra hueca.

14. Estructura según la reivindicación 12, en la que el medio de calentamiento se proporciona mediante un hilo ferromagnético acoplado a una fuente de energía inductiva.

15. Estructura según la reivindicación 12, en la que el medio de calentamiento se proporciona mediante un fluido absorbente de microondas dentro de la fibra seleccionado para absorber radiación a una frecuencia distinta de a la que se absorbe la radiación de microondas por el material compuesto de resina en el que están incrustadas las fibras.

16. Estructura según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 11, en la que las fibras de al menos dicha primera serie de fibras están recubiertas con un material eléctricamente resistivo mediante lo cual, cuando se le aplica un potencial eléctrico, las fibras pueden calentarse.

17. Estructura según la reivindicación 11; en la que las fibras de dicha primera serie de fibras están recubiertas en el interior con dicho material eléctricamente resistivo.

18. Estructura según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 17, en la que las fibras adyacentes a las fibras huecas de la primera serie son fibras sólidas formadas por un material que tiene una resistencia eléctrica que proporciona elementos de calentamiento para calentar la composición de adhesivo.

19. Estructura según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 18, en la que la composición de adhesivo es una composición curable por ultravioleta o radiación y una primera serie de fibras huecas está ubicada en o adyacente a una superficie externa de la estructura.

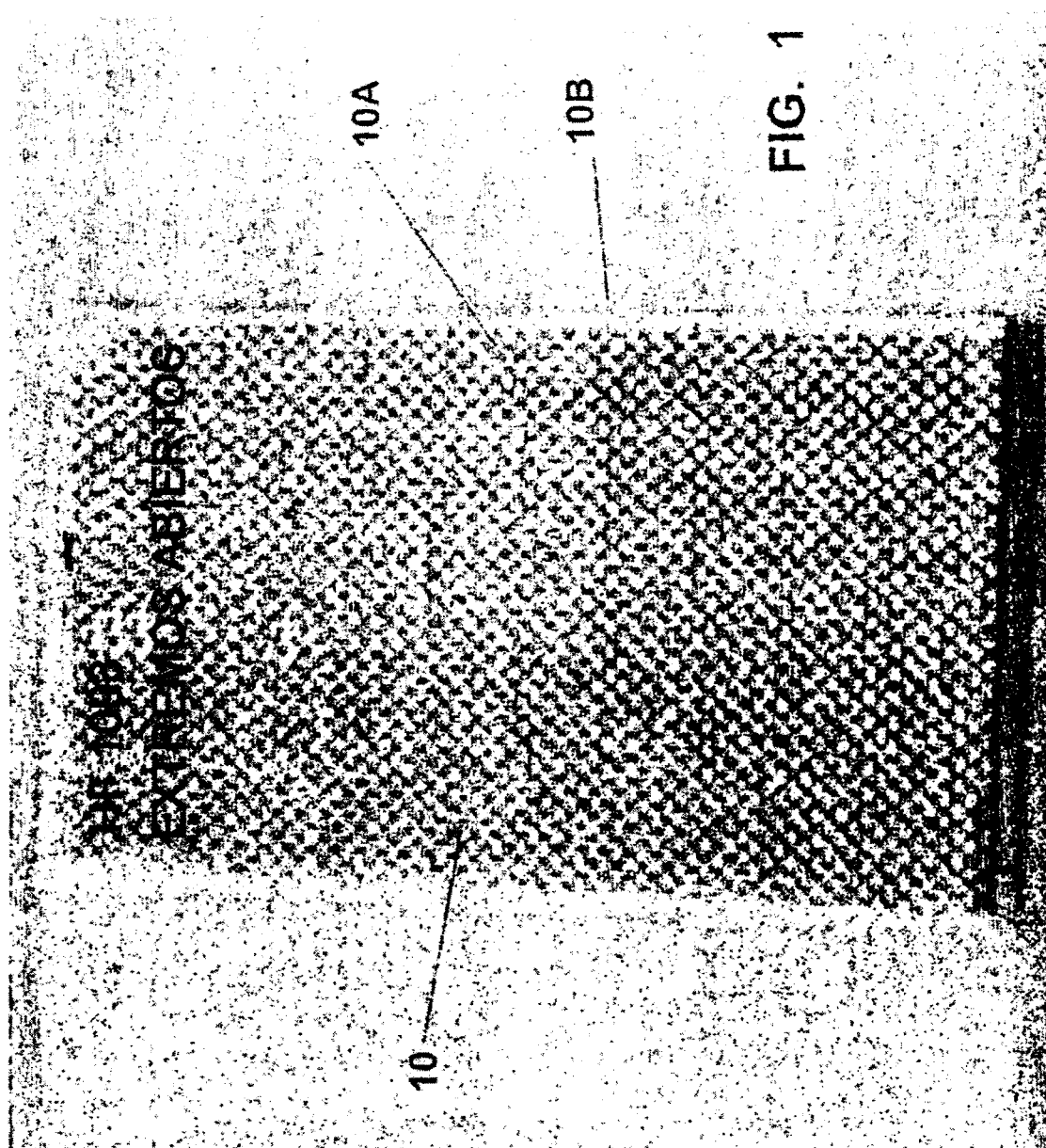
20. Estructura según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 19, en la que las series de fibras están dispuestas en capas al menos sustancialmente paralelas a las superficies principales de la estructura.

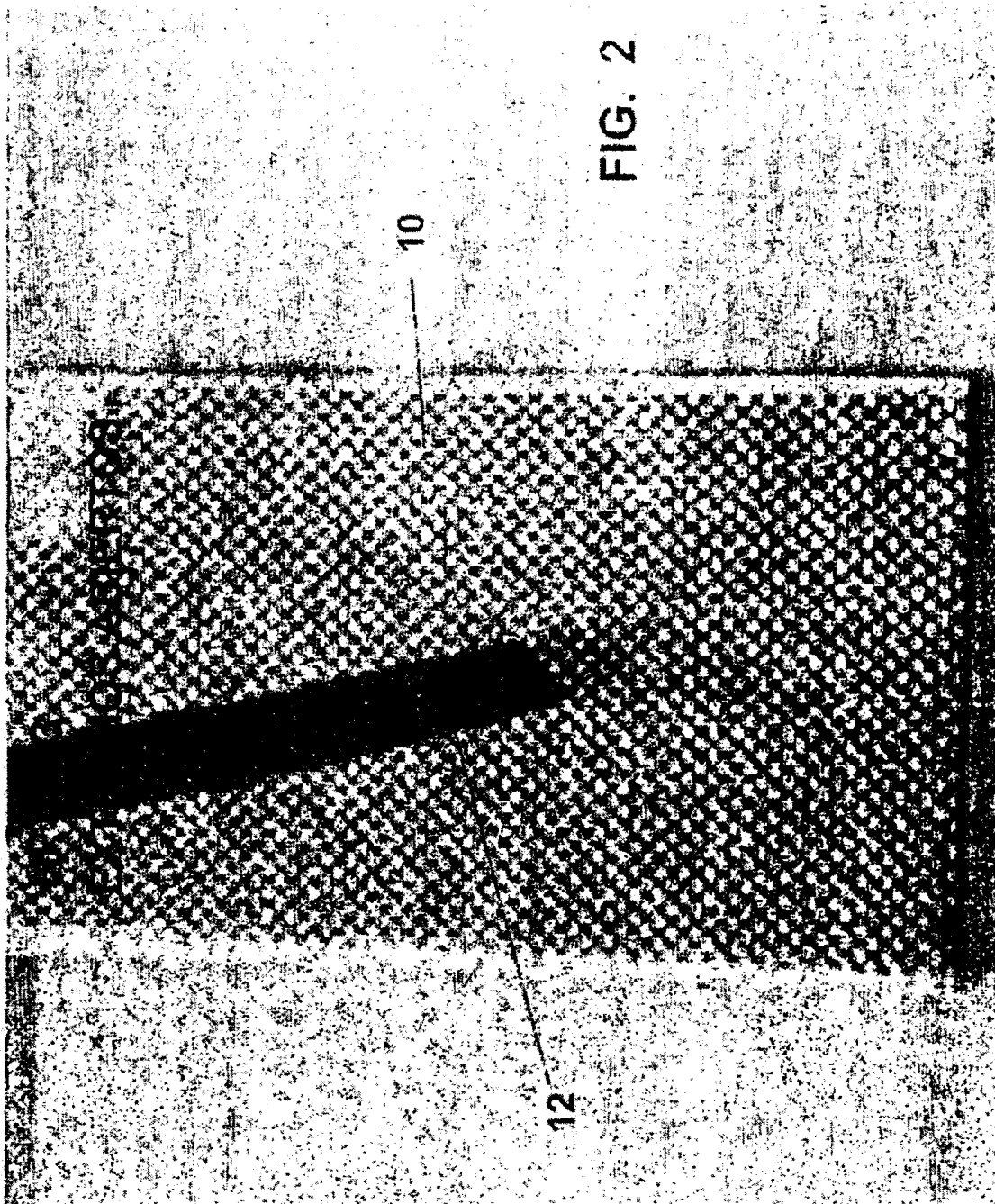
ES 2 323 386 T3

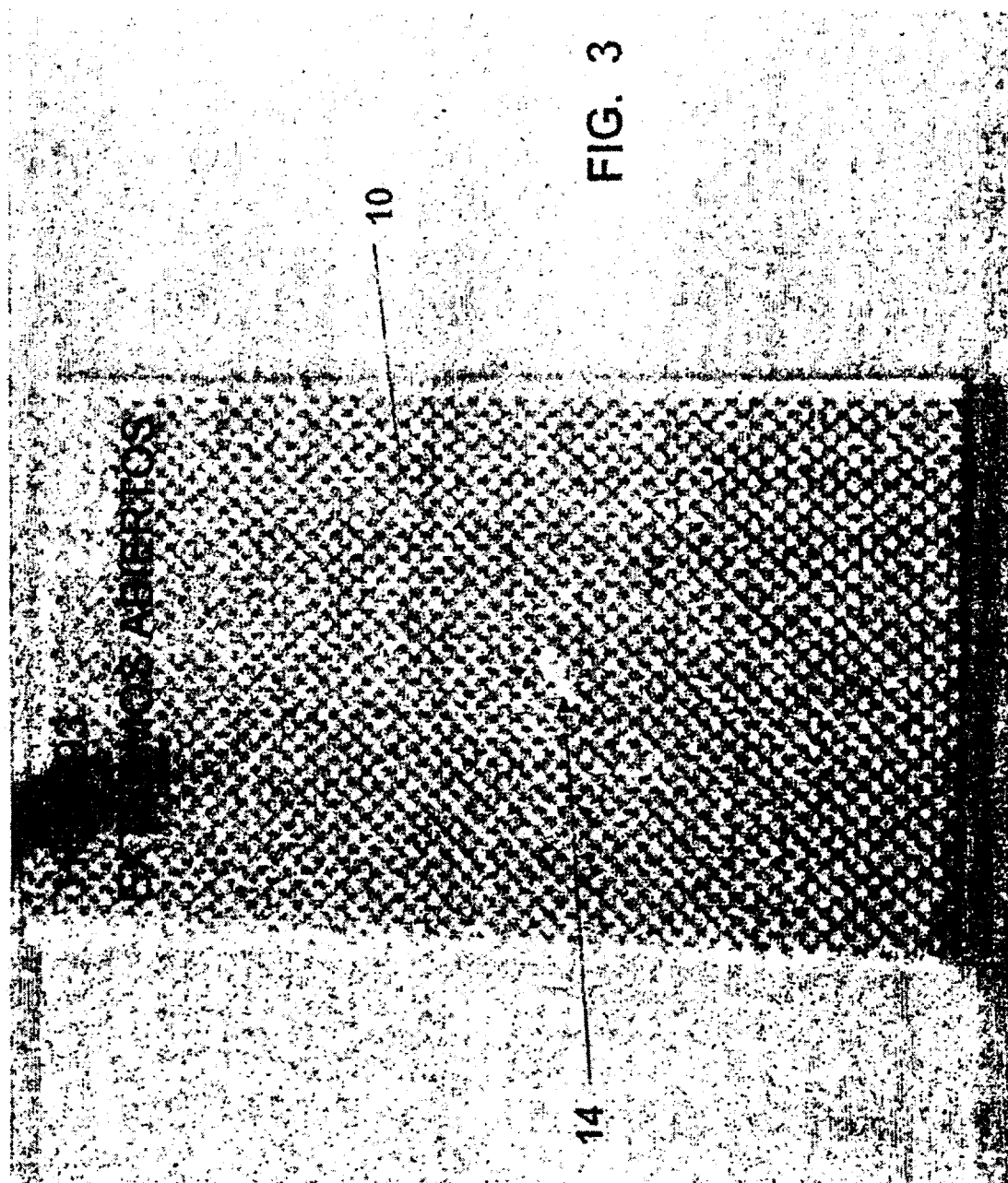
21. Estructura según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 20, en la que la composición de adhesivo se selecciona de una composición de adhesivo que experimenta un cambio de color al curarse.

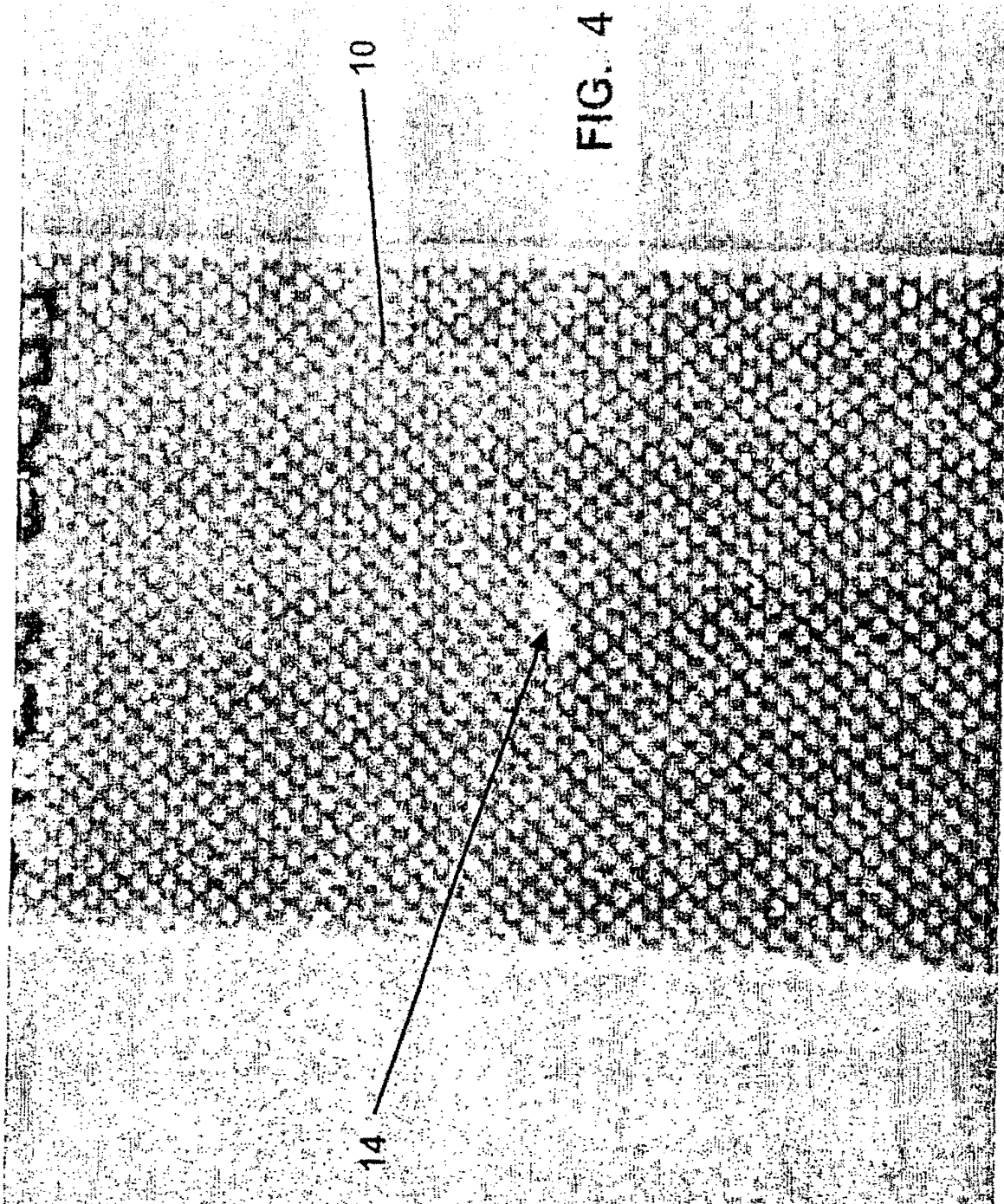
22. Vehículo aéreo, terrestre o acuático que incluye una o más estructuras tal como se exponen, proporcionándose cada una de ellas mediante una estructura según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 21.

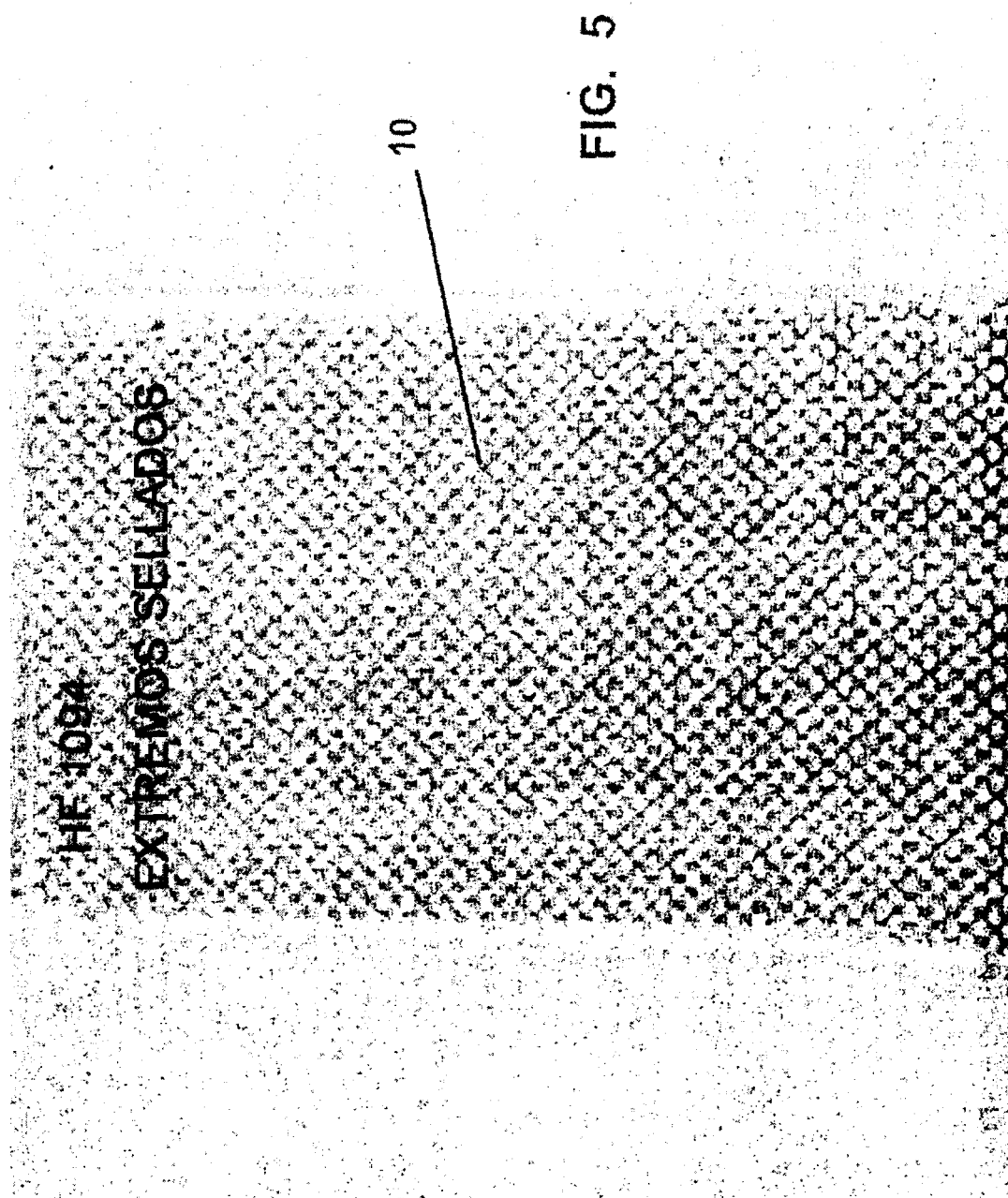
23. Método de reparación de una fractura en una estructura formada por una pluralidad de fibras dispuestas para formar un cuerpo compuesto, incluyendo la pluralidad de fibras series de fibras huecas, de las que al menos una, primera, serie está conectada a al menos un depósito de una composición de adhesivo de un componente en forma fluida, y estando distribuidas las fibras huecas de la primera serie entre las fibras de la(s) otra(s) serie o series, mediante lo cual, en el caso de fractura de cualquier fibra, puede liberarse composición de adhesivo para unir las partes fracturadas de las fibras, comprendiendo el método las etapas de rellenar las fibras seleccionadas con una o más de las composiciones de adhesivo a presión, de modo que la composición de adhesivo puede liberarse en el punto de fractura para sellar tal fractura mientras que se mantiene el flujo de fluido a través de la fibra.

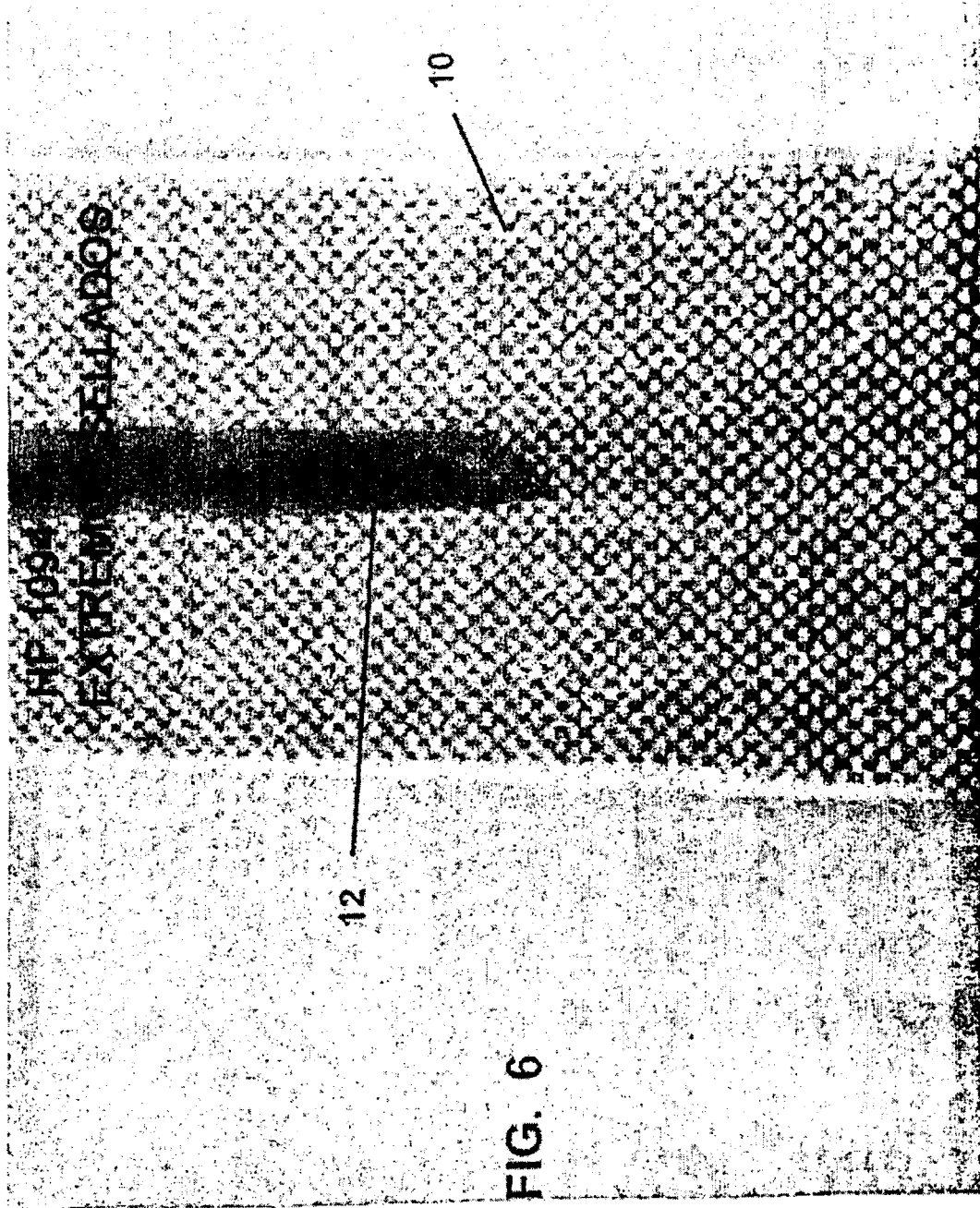


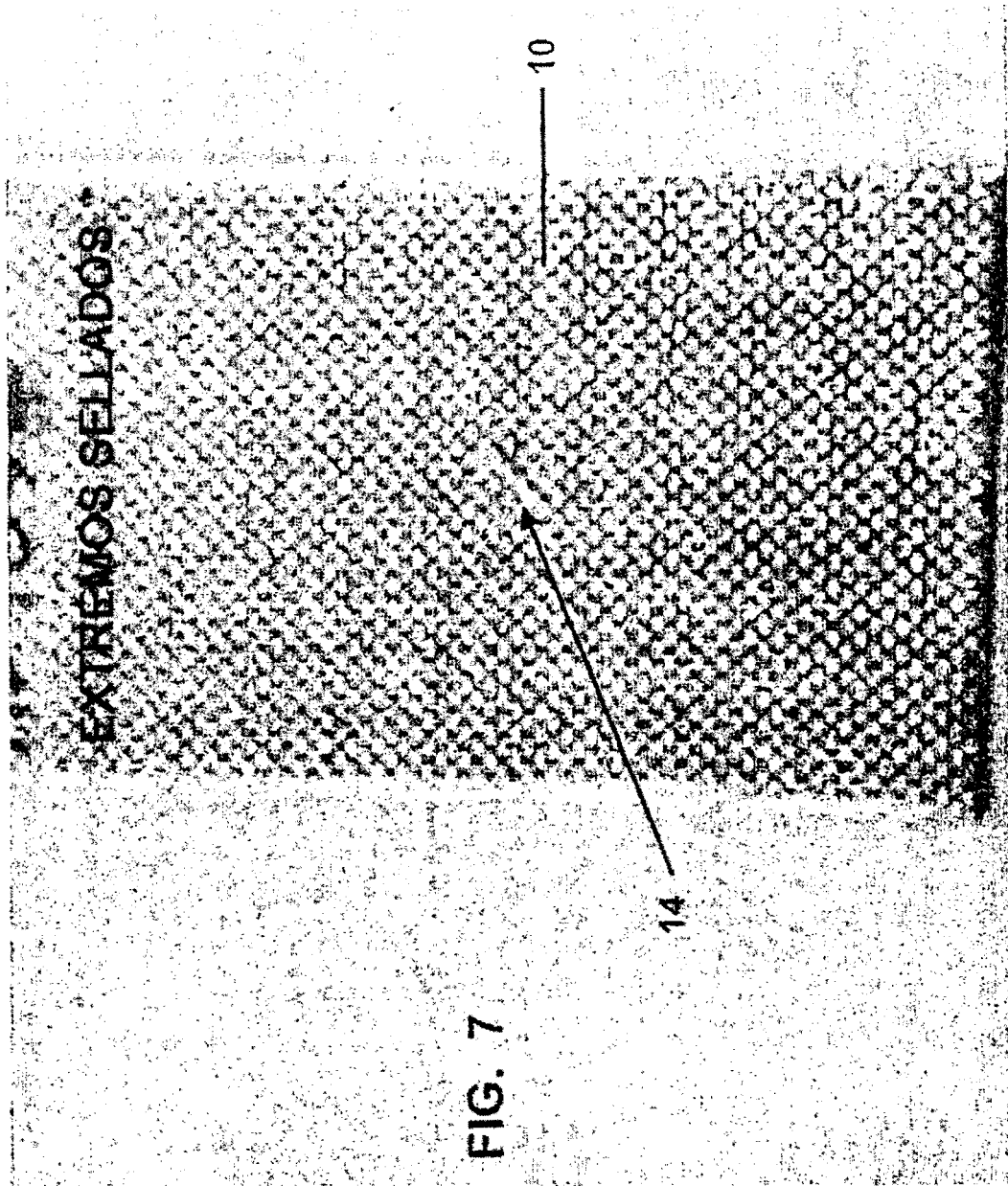


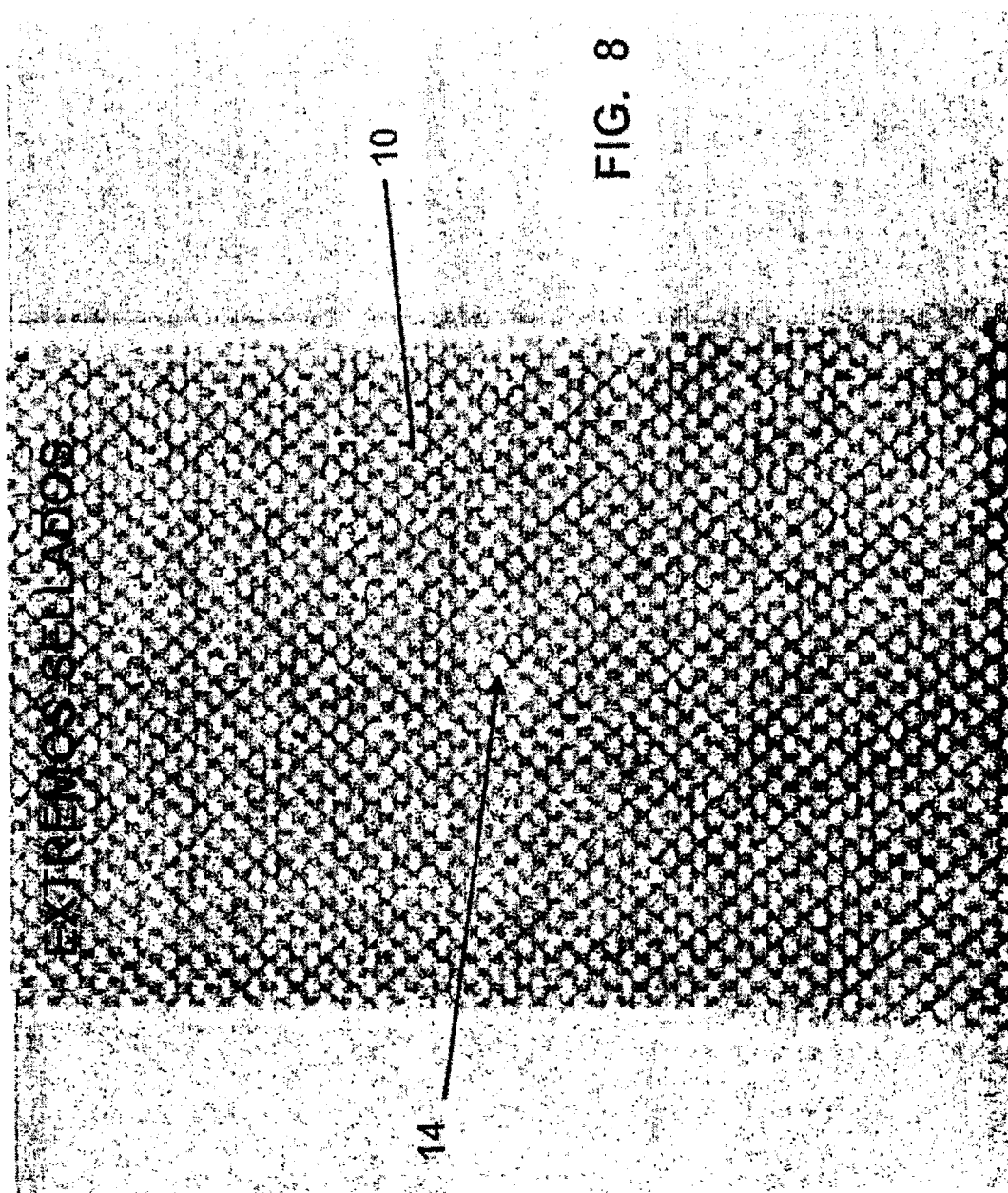


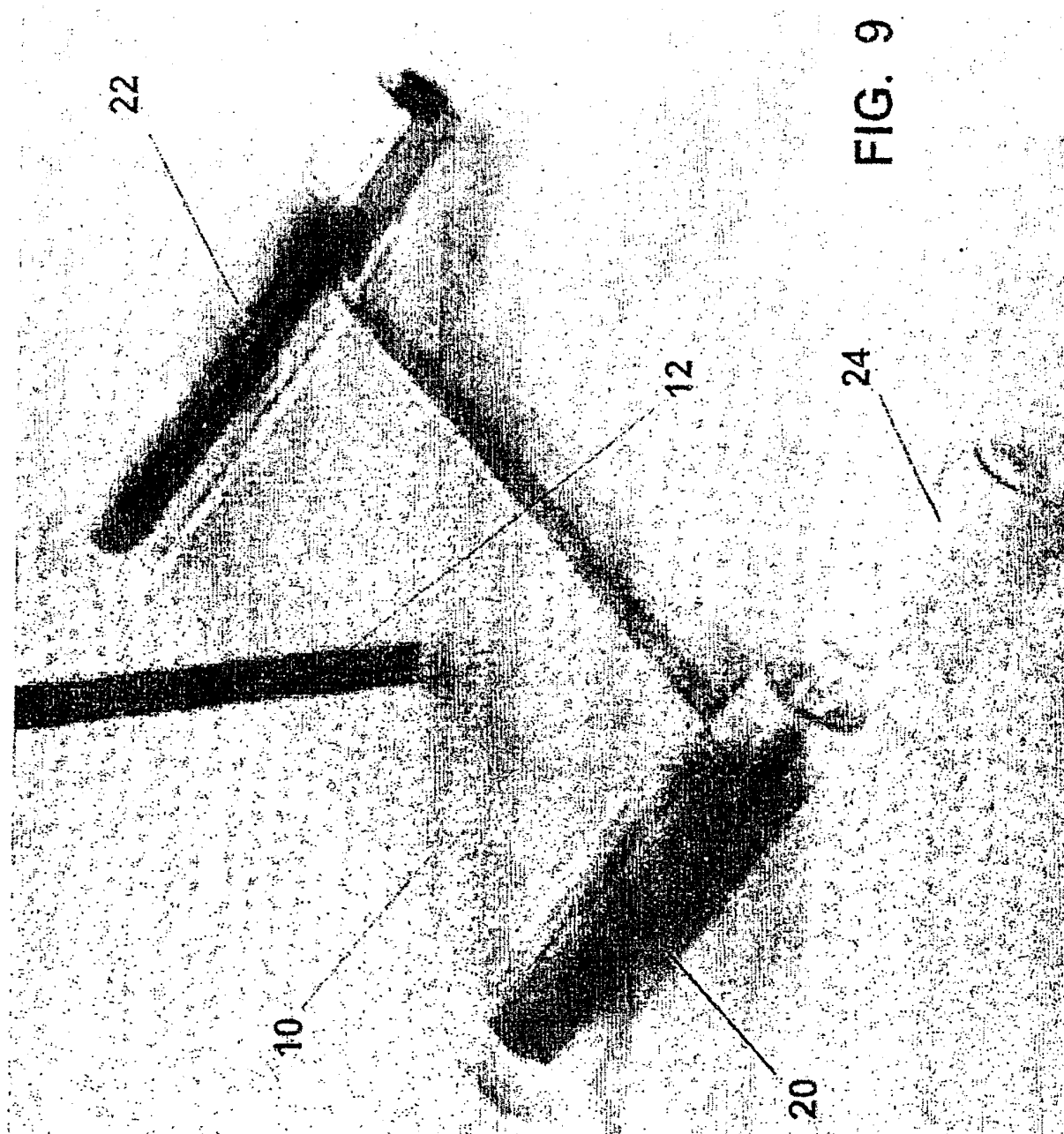


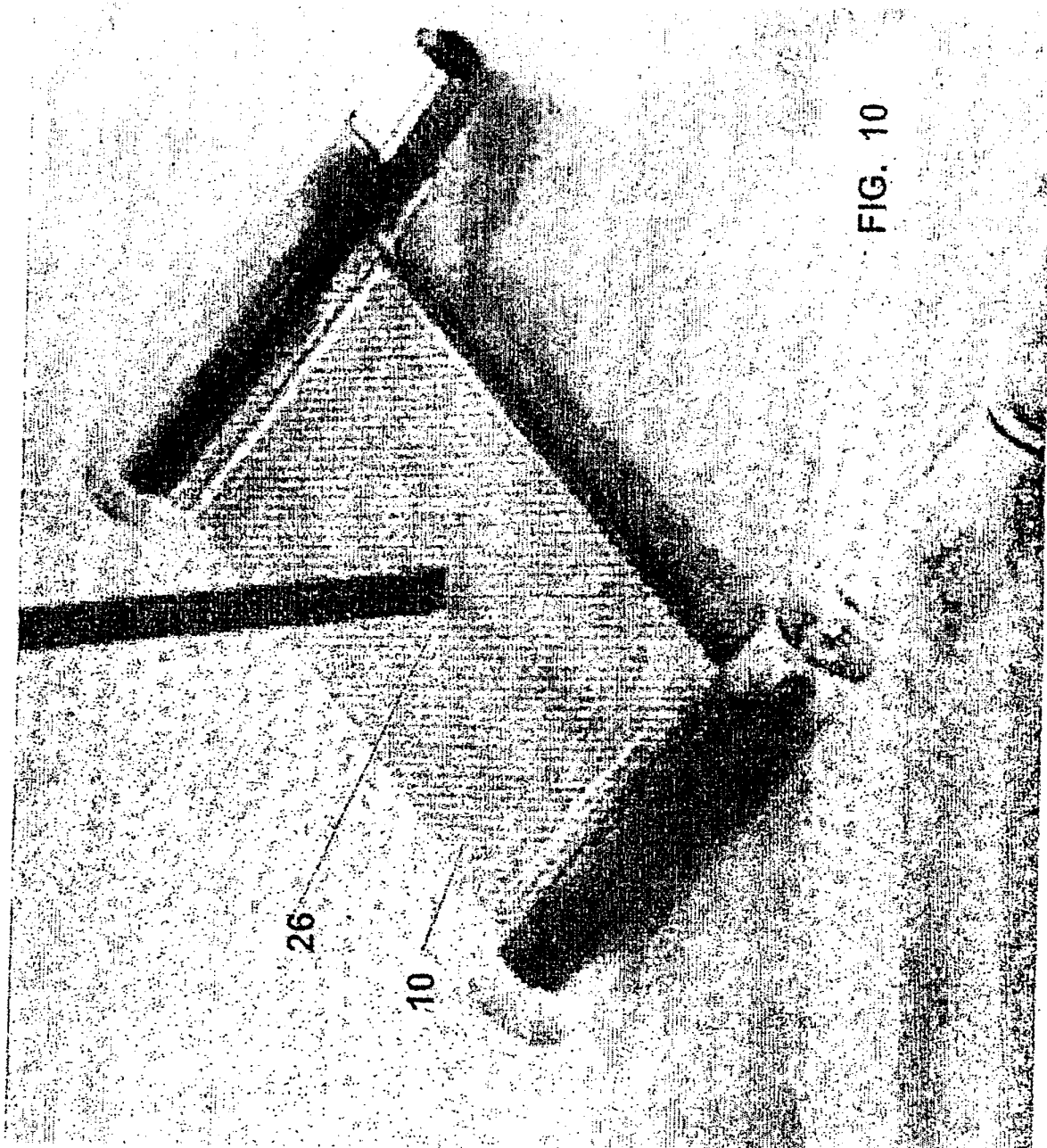


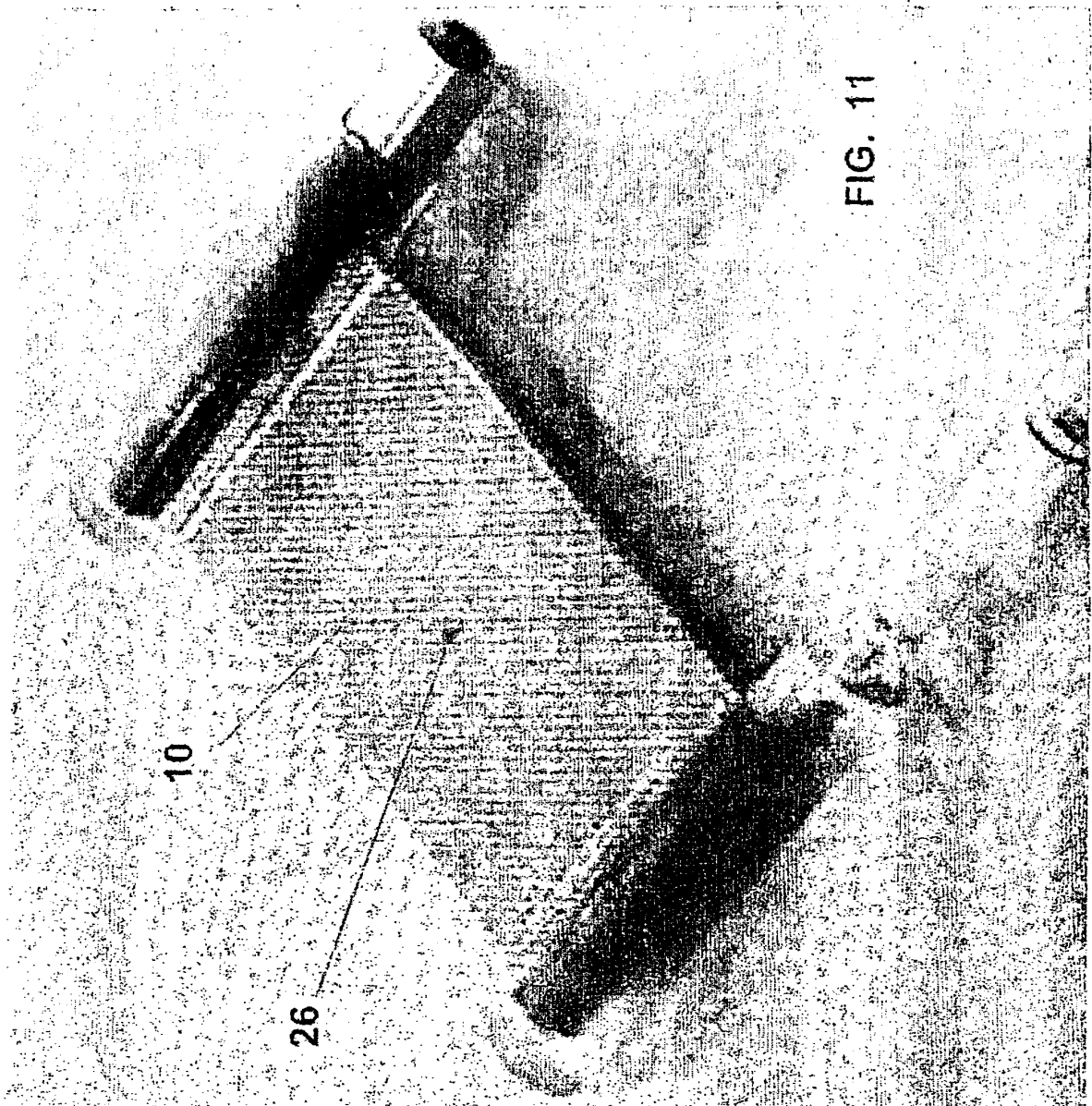


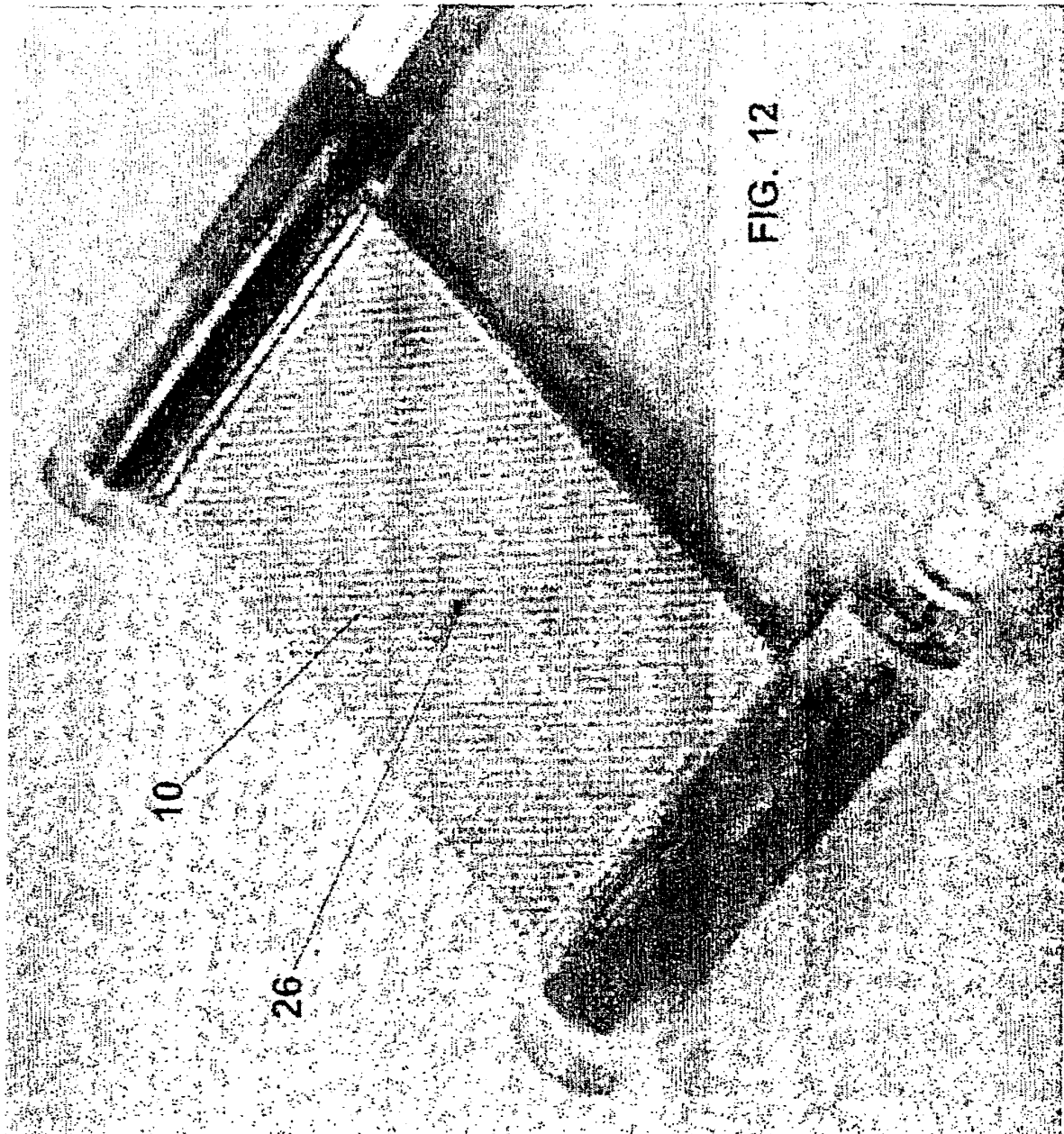


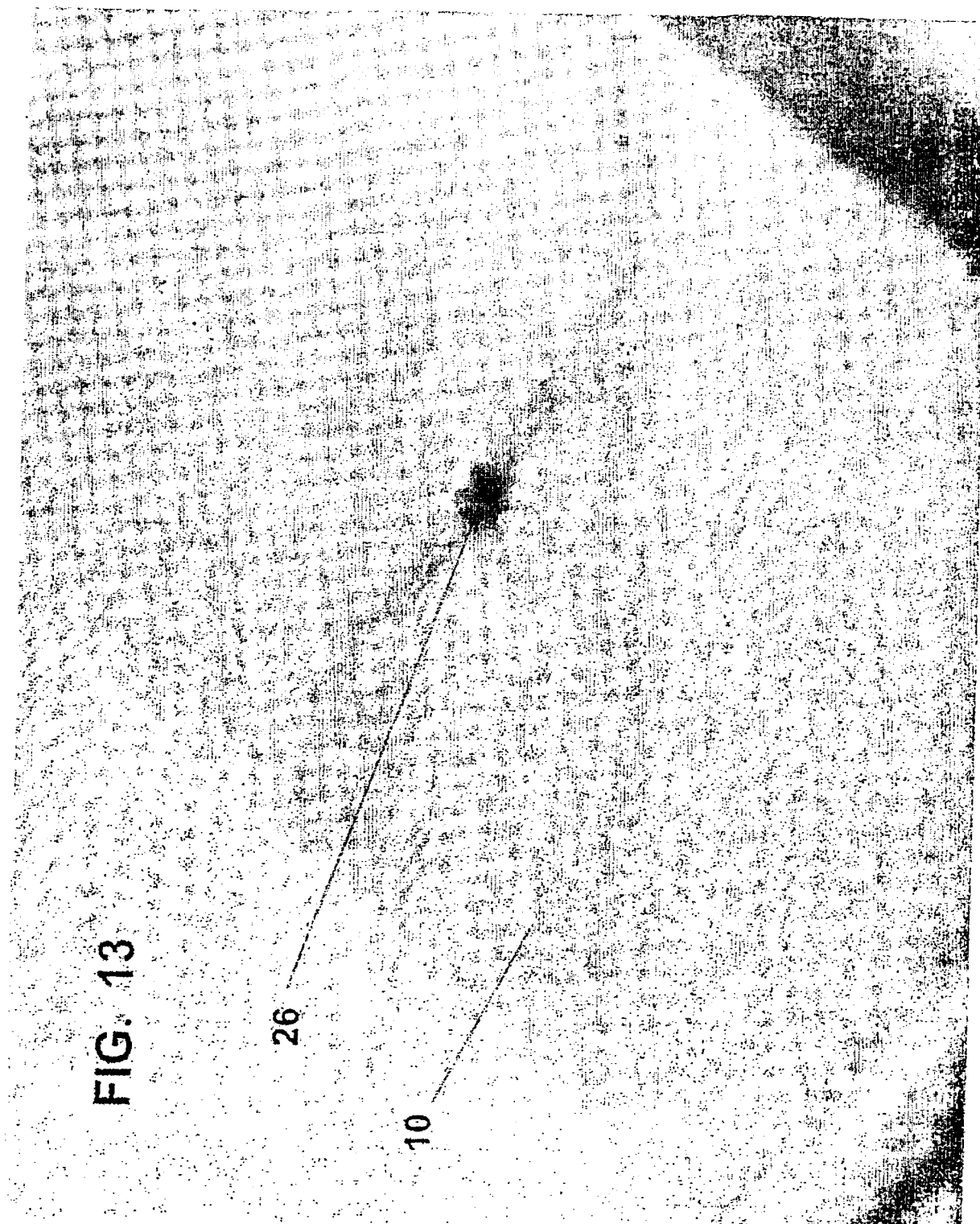












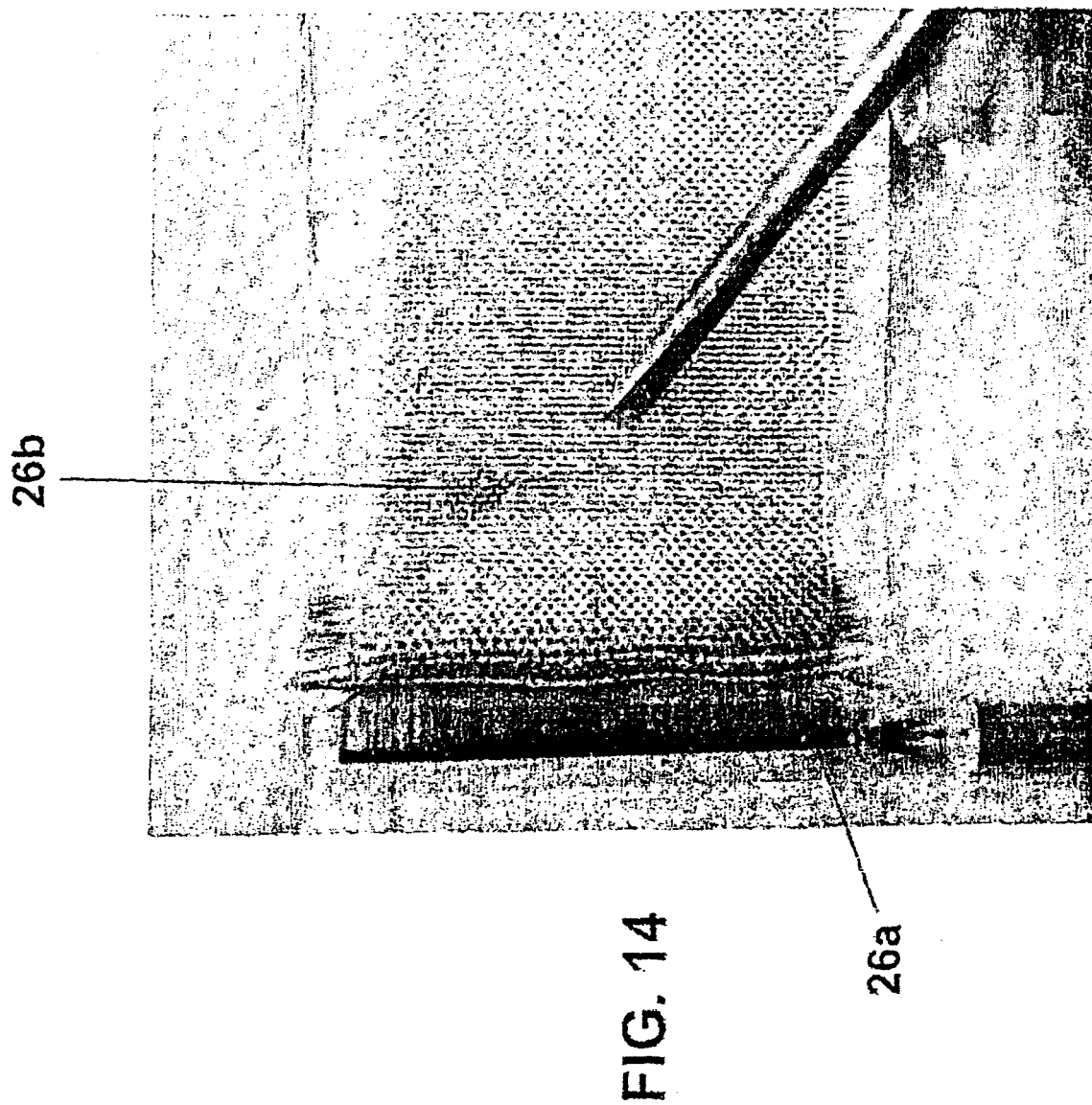
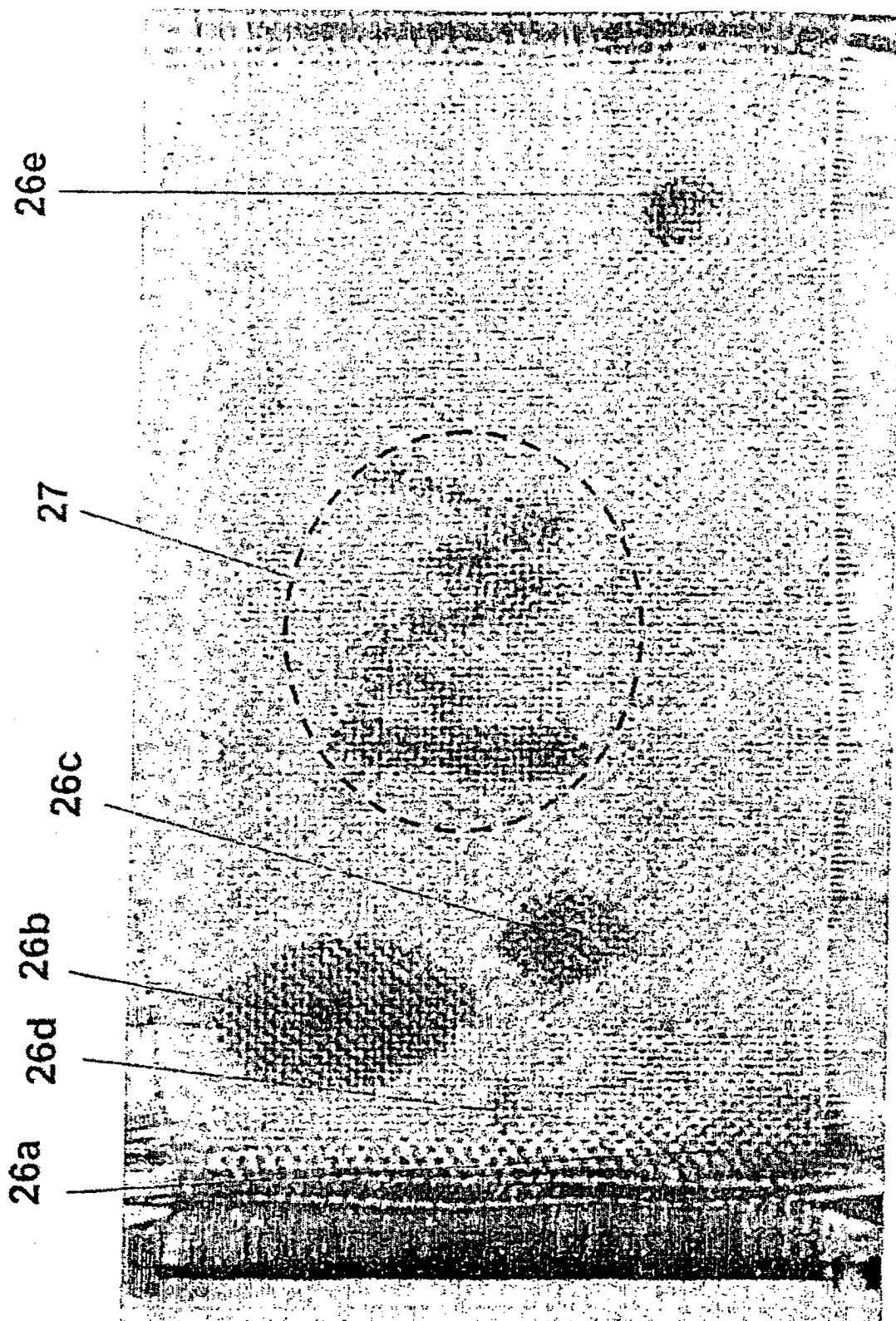
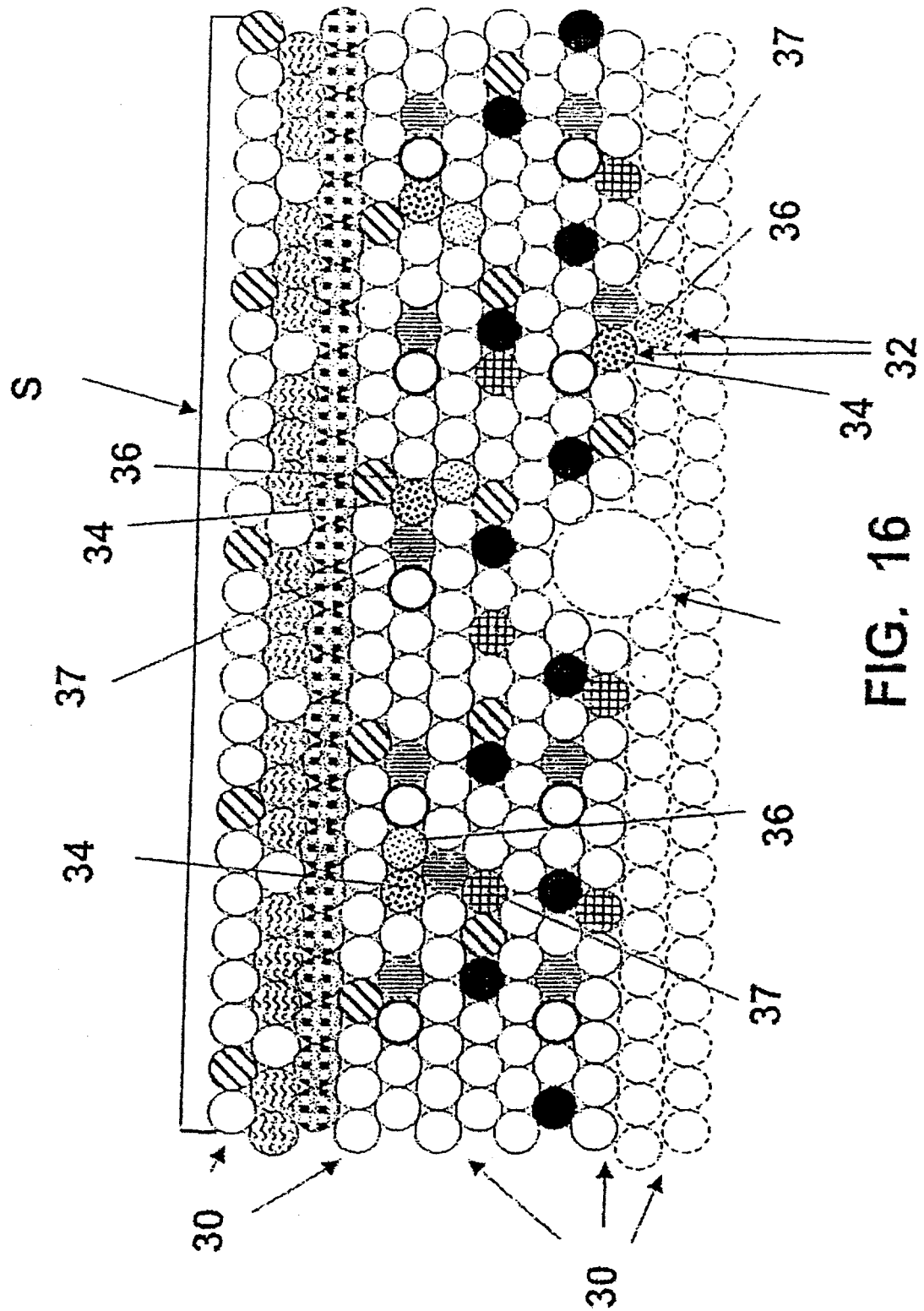


FIG. 15





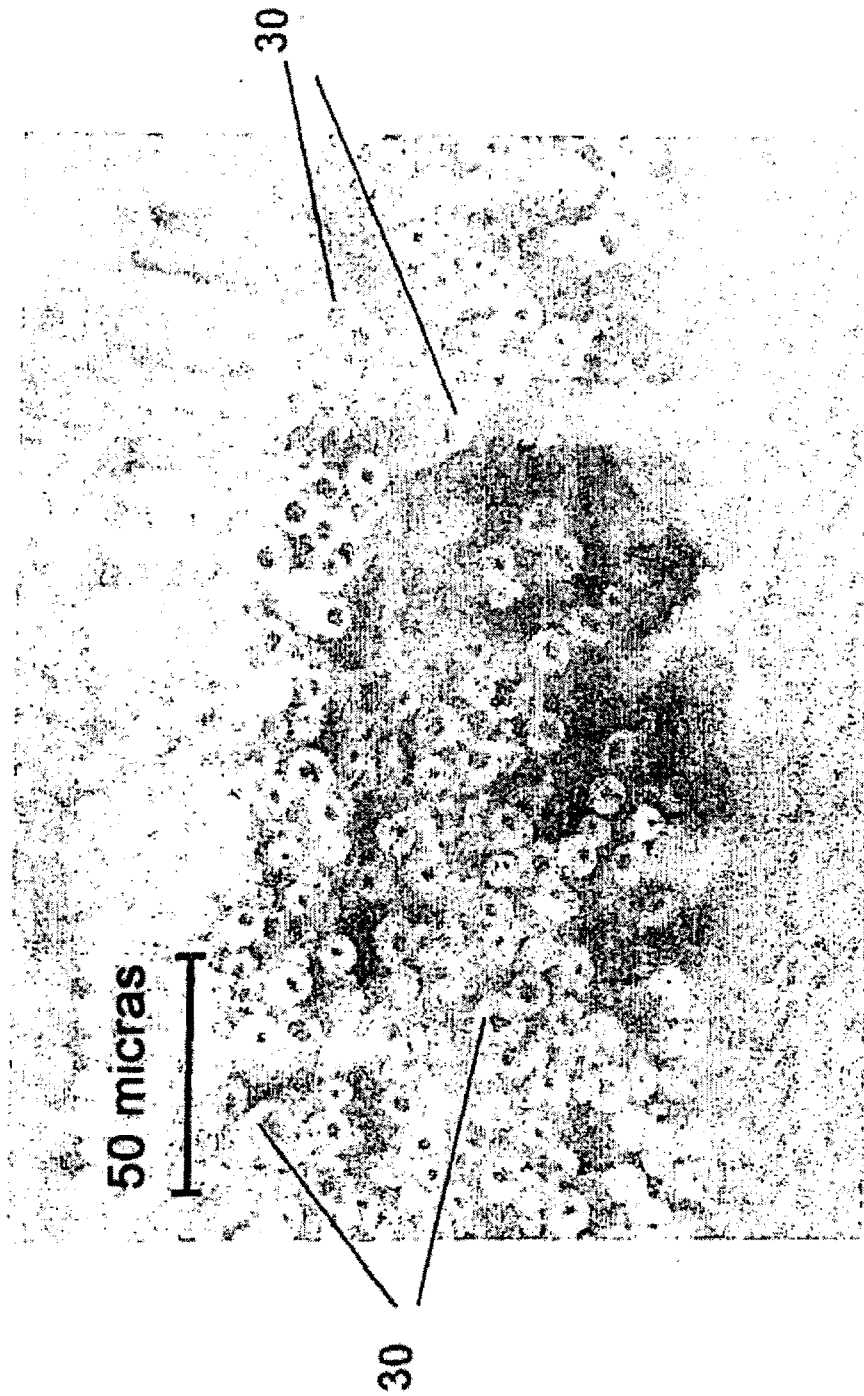
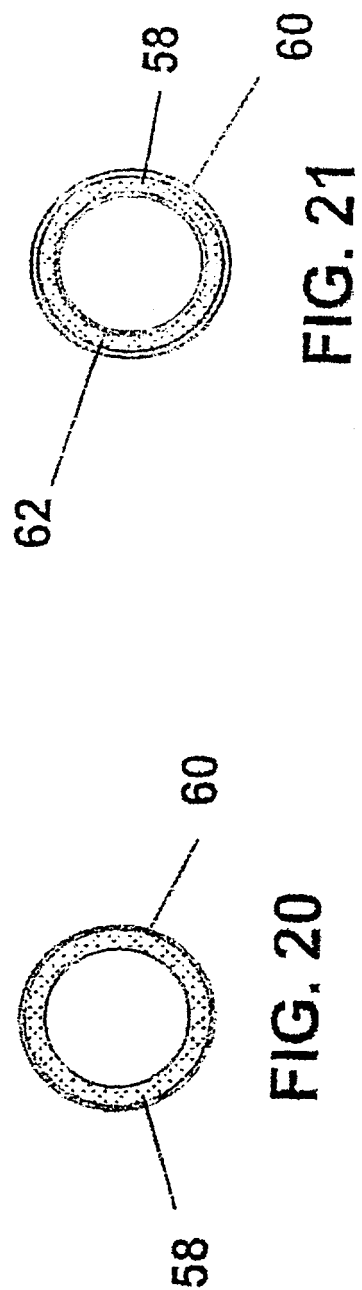
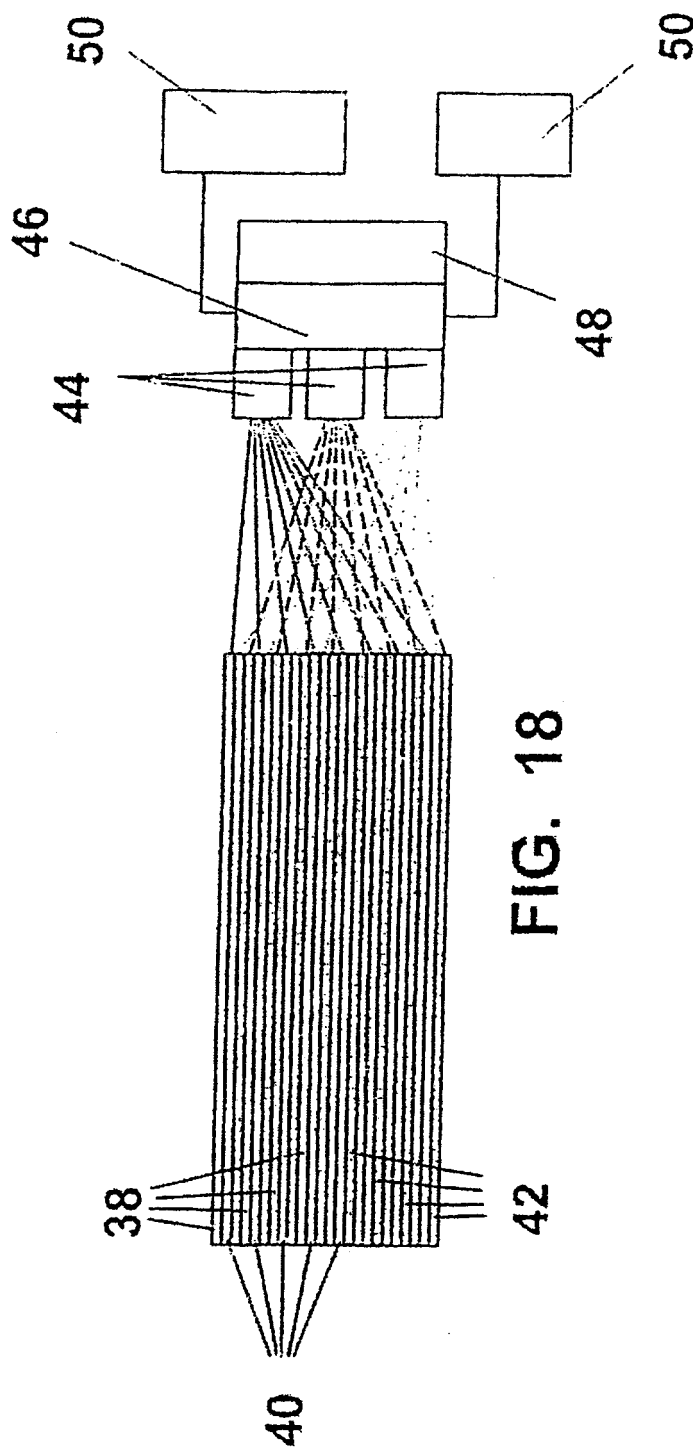


FIG. 17



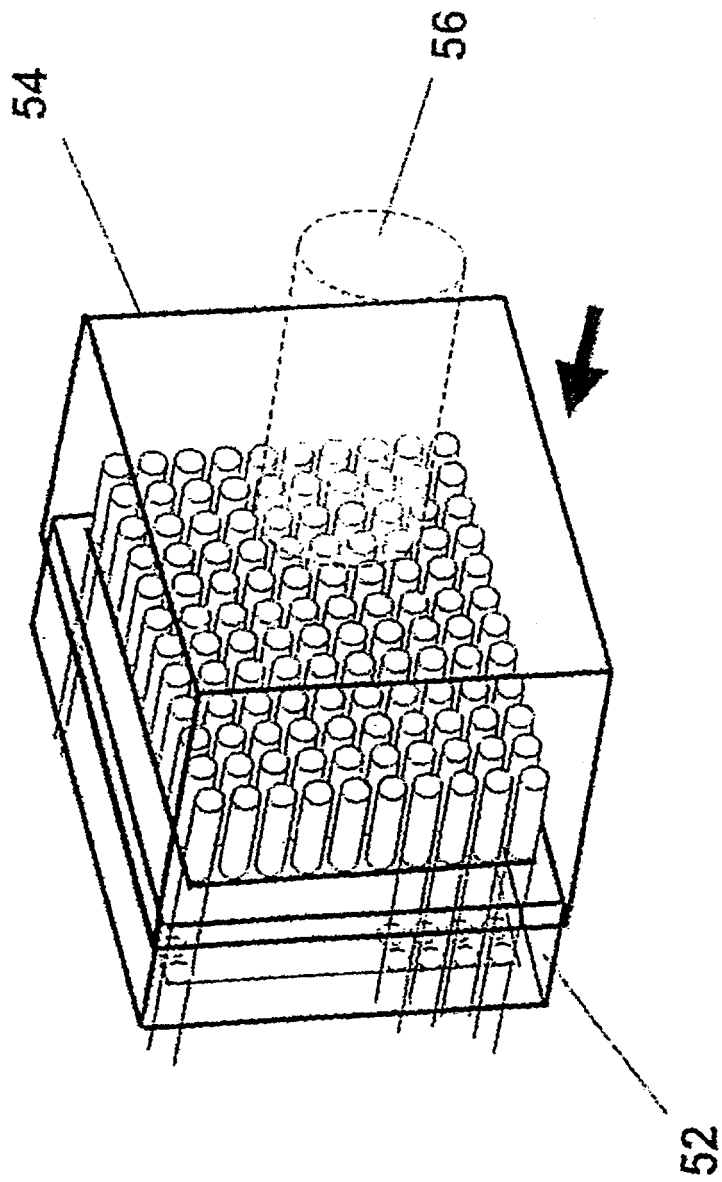


FIG. 19