



19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 341 883**

51 Int. Cl.:

B29C 73/22 (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: **06744278 .0**

96 Fecha de presentación : **22.06.2006**

97 Número de publicación de la solicitud: **1901914**

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

54 Título: **Estructura de auto-reparación.**

30 Prioridad: **30.06.2005 GB 0513498**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
29.06.2010

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
29.06.2010

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

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

74 Agente: **González Palmero, Fe**

ES 2 341 883 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

Estructura de auto-reparación.

5 Esta invención se refiere a materiales de fibras y se refiere, específicamente, a estructuras en las cuales fibras huecas y/o macizas se combinan en un único cuerpo para formar un cuerpo de material compuesto que tiene capacidad de auto-reparación y/o tiene la capacidad de proporcionar una indicación tanto de cuándo es necesaria una reparación como de cuándo se he llevado a cabo una auto-reparación. Esto es especialmente aplicable, pero no está limitado a, lo que se denomina reparación de daños durante el funcionamiento, que se puede improvisar o llevar a cabo rápidamente en un entorno de trabajo para que el equipo dañado o deshabilitado vuelva a funcionar temporalmente.

15 En la patente estadounidense nº 6527849 de Dry se desvelan de forma muy detallada muchas soluciones para la reparación de artículos que utilizan “recipientes” (incluyendo pipetas, tubos, fibras y similares) en matrices que comprenden, entre otras, medios de hormigón y otros materiales incluyendo aquellos que se pueden usar incorporados en aviación, ortopedia y diversas otras áreas. La memoria descriptiva de Dry sugiere el uso de muchos materiales diferentes, enumerando casi cada material polimérico útil conocido en el momento de la solicitud básica como agentes termoplásticos o termoestables de unión, relleno y reparación.

20 El documento DE4107618A1 describe un material compuesto que comprende fibras huecas en una matriz. Estas fibras huecas están cerradas y contienen resina o un agente de curado bajo presión. Cuando se produce una fractura, la resina o el agente de curado es presionado hacia fuera por la presión y reacciona para cerrar la fractura.

25 Hemos llevado a cabo muchos experimentos para desarrollar la presente invención y hemos descubierto que la colocación de tales materiales como menciona Dry en fibras huecas ha resultado en repetidos intentos fallidos de que cualquier fluido que se coloque en tales fibras salga espontáneamente de la fibra cuando se rompe una fibra. Esto se ha producido un número suficiente de veces durante el experimento como para que no se considere tan solo debido al azar. En las figuras 1 a 8 de los dibujos adjuntos se muestran, como imágenes fotográficas, los resultados de dos de los experimentos que hemos llevado a cabo como se ilustra. Como se puede observar en la figura 1, el objeto de los experimentos fue una estructura 10 de material compuesto tejido preformado que está formado por fibras 10A de urdimbre y fibras 10B de trama, extendiéndose las fibras de trama transversalmente a de izquierda a derecha en la figura 1. En ambos casos el cuerpo se formó embebiendo el material textil de fibras huecas en una matriz de resina circundante para observar directamente el efecto de la fractura de las fibras como se producirla en una estructura rígida. El material textil estaba completamente formado por estratos de fibras de vidrio huecas tejidas con un diámetro externo de 10-12 micrómetros y un diámetro interno de 5-7 micrómetros, todas las cuales estaban llenas de un material líquido coloreado en forma de agua pura que tenía un agente colorante proporcionado por un colorante alimentario comercial añadido a la misma. El experimento en si se realizó a temperatura ambiente.

35 Se usó un instrumento afilado proporcionado por la cabeza de un destornillador 12 para perforar la estructura de material compuesto y romper-así algunas de las fibras de la misma. La rotura de las fibras se puede observar en la figura 2; la cabeza se insertó en la estructura y, a continuación, se retiró inmediatamente, habiendo fracturado las fibras de la estructura. Cuando la cabeza del destornillador se retiró de la estructura, la estructura se fotografió inmediatamente, como se muestra en la fig. 3, y se mantuvo entonces en observación inicialmente durante varios minutos; se descubrió que en ningún momento emanó de las fibras el fluido coloreado dentro de las fibras de la estructura. La estructura se fotografió al final de un periodo adicional de aproximadamente diez minutos y el estado de la estructura al final de ese periodo se puede observar en la fotografía de la figura 4, en la que la ruptura de las fibras es visible con el número 14, siendo la ruptura claramente visible por la reflexión de la luz de las porciones rotas de las fibras. Se realizó una observación de la estructura después, durante un periodo adicional de una hora después de que la estructura se hubiera perforado, y en ningún momento se detectó ningún cambio en la figura 4 o se observó que saliera ningún fluido de los extremos rotos de las fibras. También se descubrió en experimentos posteriores que el cambio de longitud de fibra en una estructura de este tipo no tenía ningún efecto sobre el resultado final y que, cualquiera que fuese la longitud de fibra, no se observaba filtración o emanación de fluido de una fibra rota.

40 En las figuras 5, 6, 7 y 8 se muestran fotografías que ilustran similares resultados pero con fibras huecas “cerradas”, lo que significa fibras huecas selladas en cada extremo. De nuevo, en la figura 5, como se puede observar, se usó un panel 10 de fibras huecas tejidas, comprendiendo estratos de fibras huecas entretejidas similares a las que forman la estructura mostrada en las figuras 1 a 4. En este caso, no obstante, se introdujo fluido en todas las fibras y los extremos abiertos de las fibras se sellaron. Se realizó entonces una operación similar a la descrita en referencia a las figuras 1 a 4 y se observaron los resultados. En la figura 6 se muestra el acto de cortar o dañar algunas de las fibras; la cabeza del destornillador se retiró inmediatamente y, en la figura 7, se puede observar de nuevo el resultado. No se observó que saliera fluido de las fibras en ningún momento. Al igual que en el ejemplo ilustrado en las figuras 1 a 4, el panel se dejó durante un periodo de aproximadamente 10 minutos y, a continuación, se sacó una fotografía, mostrada en la figura 8, que indica que no se produjeron cambios respecto a lo observado inmediatamente después de cortar las fibras.

65 Habiendo observado los resultados obtenidos, los experimentos se repitieron con ambos tipos de redes, pero con una composición de resina epoxi y, después, con una composición de resina de cianoacrilato, rellenando las fibras huecas, siendo coloreada cada composición con un colorante adecuado. En ninguno de los casos se logró ningún resultado que fuese diferente a los mostrados en las figuras 1 a 8.

Por tanto, como medio de efectuar reparaciones en estructuras tales como cualquier pieza de un avión, en las que es crítica la reparación rápida de cualquier defecto, se debe considerar que la implementación de las soluciones sugeridas en la memoria descriptiva de Dry no es fiable. Es esencial, cuando hay una gran posibilidad de fallo que pueda conducir a situaciones que pongan en peligro vidas, minimizar cualquiera de tales riesgos. Es esencial, al considerar sistemas de auto-reparación para aviación, por ejemplo, que no haya riesgo de fallo y que se garantice el 100% de fiabilidad.

Por consiguiente, aunque se puede considerar que el documento de Dry desvela los principios generales de uso de recipientes para colocar agentes “modificadores” *in situ*, no contiene orientación alguna respecto al modo de tal uso o de los parámetros relacionados con tal uso, excepto que, respecto a una realización que solo usa fibras selladas, especifica diámetros externos de hasta 100 micrómetros. En todas las demás realizaciones, los recipientes son de tamaño no especificado y pueden incluir tanto tuberías como fibras, capilares, pipetas, tubos y similares. De forma similar, las proporciones y cantidades de los denominados agentes faltan completamente de la memoria descriptiva de Dry, tales como información práctica tal como viscosidad, temperatura y otros parámetros, que puede ser crítica.

El trabajo de Dry se ha mencionado mucho en “Alteration of matrix permeability, pore and crack structure by the time release of infernal chemicals” - (publicado en Proc. Advances in Cementitious Materials, American Ceramic Society, Gaithersbury, Maryland, EEUU, 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 1st European Conf. on smart structures and materials, Glasgow 1992, 367, Sesión 11). El artículo hacía referencia al uso de fibras de fibra de vidrio y polipropileno porosas huecas revestidas y a la reparación de fibras que usan esas técnicas. La reparación implicaba:

1. Cierre por cambio de las dimensiones de las fibras cuando se alargan, forzando así la salida del relleno.
2. Separación del revestimiento de las fibras debido a cargas de tracción.
3. Rotura de las fibras huecas, liberando así los componentes químicos.

El propósito de las fibras era derramar materiales que evitarían la corrosión.

“Smart Materials for sensing and or remedial action to reduce damage to materials” - (Proceedings ADPA/AIAA/ASME/S PIE conference on active materials and adaptive structures - sesión 11, 1992, 191-4). Este artículo analizaba el uso de un revestimiento de cera sobre fibras porosas. Para liberar el contenido de las fibras, es decir, el relleno, las fibras se calientan para fundir la cera.

“Passive smart materials for sensing and actuation” - (Journal of Intelligent Materials Systems and Structures, 1993, 4, Jul, 420-425). Este artículo especula sobre el suministro del relleno usando bombas de vacío para extraer los componentes químicos a través de las fibras porosas, que se filtran hacia fuera de la pared porosa cuando se interrumpe el vacío. El artículo también menciona el uso de suministro por gravedad de materiales anticorrosivos a través de las fibras huecas hasta la matriz circundante del lugar de corrosión y “electricidad para conducir los componentes químicos iónicos desde las fibras metálicas huecas 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 “Society of Photo-optical Instrumentation Engineers”). El artículo analiza el uso de prismas de cemento con fibras de refuerzo metálicas y pipetas de vidrio que contienen medio de reparación y tinte. La nueva unión de las fibras se realiza según el documento SPIE 1916/439, 1996, al que se hace referencia posteriormente.

“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 memoria descriptiva es como la del documento J. Intell. Mats. Systems and Structures, 4, 420, 1993, al que se hace referencia anteriormente. En el procedimiento descrito, para la reparación de grietas en estructuras de cemento, se funde un revestimiento de cera que encierra fibras porosas y se libera metilmetacrilato (MMA) y, a continuación, se polimeriza con calor. Se usó vacío para extraer el MMA a través de las fibras huecas y, entonces, se indicaba que la liberación de vacío permitía el sangrado a través de los poros de las paredes de las fibras del agente reparador.

“Adhesive liquid core optical fibers for crack detection and repairs in polymer and concrete matrices” - (SPIE-vol - 244, 410-413, 1995). Este artículo hacía referencia a la investigación del uso de fibras de núcleo líquido para transmisión de luz con el fin de detectar fallos y auto-repararlos, en realidad, usando capilares y tubos, aunque éstos se denominaban 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 la luz. Se indica que, con “fibras tipo no-capilares mayores”, el líquido alojado en la parte inferior del recipiente transmite luz más brillante que la porción llena de aire.

“Three-part methylmethacrylate adhesive system as an infernal delivery system for smart responsive concrete” - (Smart Materials and Structures, 5 (1996) 297-300). En el trabajo indicado se usó un metilmetacrilato de 3 componentes (MMA:Hidróperóxido de cumina:Neodecanoato de Co - 100:4:2) que se reivindicó como más estable que

otros materiales. Se usó una mezcla de Co/MMA y el peróxido para rellenar huecos cilíndricos (independientes) en el hormigón. Las superficies de las paredes del cilindro se revistieron con un sello resistente al agua y, cuando se sometían a esfuerzos, el sellante se rompería permitiendo que el relleno saliera. "Passive smart self-repair in polymer matrix composite materials" - (SPIE, 1916, 4 38-444,1993). Se hacía referencia a dos diseños tipo "liberación con el tiempo" pasivos, concretamente:

- a. cargas de tracción de lectoras que rompen la fibra hueca haciendo que libere el componente químico reparador;
- b. cargas de tracción que producen la desunión de la fibra reparadora de su revestimiento;

Dry usó un único recipiente de vidrio hueco en un material matriz. Sin embargo, se debe destacar que el ensayo indicado era un ensayo pasivo, es decir, cualquier filtración de material desde una fibra, que se cree que era una fibra auto-contenida de muy poca longitud, embebida dentro del material matriz, se habría realizado sin ejercer ninguna influencia externa que no fuese la aplicada por cualquier cambio físico en la propia matriz. "Procedures developed for self-repair of polymer matrix composite materials" (Composite Structures 35 (1996) 263-269). Se embebió una única fibra reparadora en una matriz polimérica para evaluar la liberación del componente químico reparador. El artículo analiza entonces pipetas que se llenan al vacío con epoxis de 2 componentes en un sistema de resina para ensayos de impacto. Los ensayos de flexión se realizaron en pipetas de vidrio llenas de cianoacrilato para limitar el crecimiento de las grietas. Parece que Dry no hace distinción entre pipetas y fibras. "A novel method to detect crack location and volumen 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 μ m) de diámetro interno. Sin embargo, Dry no confirma si las fibras están en realidad embebidas en la propia matriz.

Además del trabajo de Dry, otros investigadores han desvelado investigaciones en el campo de la auto-reparación.

Li y col. han hecho referencia, en "Feasibility study of a passive smart self-healing cementitious composite" (Composites Part B 29B (1998) 819-827), al tema del uso de cianoacrilatos en fibras embebidas en una matriz cementosa. Se usaron dos tipos de "fibras", concretamente, fibras hechas a medida de 500 micrómetros de diámetro (espesor de pared de 60 micrómetros) y fibras comerciales usadas para aplicaciones médicas (micropipetas de muestreo de sangre).

Zako y col. han hecho referencia, en "Intelligent material systems using epoxy particles to repair microcracks and delamination damage in GFRP" (J. Intell. Mats. Systems and Structures, 10, 863, 1999), al uso de partículas epoxi termoplásticas embebidas en una matriz epoxi endurecible en frío para calentar el material para producir el flujo del material reparador termoplástico para subsanar el daño.

Motoku y col. han hecho referencia, en "Parametric studies on self-repairing approaches for resin infused composites subjected to low velocity impact" (Smart Materials and Structures, 8 (1999) 623-638, al uso de materiales compuestos basados en materiales textiles de vidrio S2 tejido con fibras huecas para auto-reparación. Se usaron tubos de vidrio, cobre y aluminio como las "fibras" reparadoras. Se usaron diámetros de 1-1,6 mm y sólo los tubos de vidrio tuvieron éxito en la auto-reparación.

Kessler y White han hecho referencia, en "Self-activated healing of delamination damage in woven composites" (Composites, Part A, 32 (2001) 683-699), a la investigación de auto-subsanación en materiales compuestos tejidos. El enfoque aquí fue el uso de monómeros en microcápsulas dispersadas en la matriz de resina. El concepto es que el daño rompe las cápsulas y el monómero (díciclopentadieno) sale fuera y se polimeriza al contacto con un catalizador basado en rutenio (catalizador de Grubb), también dispersado en el material matriz.

Bleay y col. hicieron referencia, en "A smart repair system for polymer matrix composites" (Composites A 32 (2001) 1767-1776), al uso de fibras de vidrio huecas de material Hollex S2 y resina-24 pliegues ACG [0,90] y [+/- 45,0,90] para formar un laminado de 6,5 mm de grosor. Las fibras Hollex eran huecas con un diámetro interno de 5 micrómetros. Bleay indicó haber llenado con éxito las fibras usando la ayuda de vacío. El relleno usado incluía adhesivos de 2 componentes (epoxis). Se aplicó entonces un impacto de 80 J; se usaron tratamientos para extraer la resina y un endurecedor. Los tratamientos se aplicaron durante 1 h a 60°C, concretamente la aplicación de vacío alrededor del lugar del impacto, calentamiento hasta 60°C y aplicación adicional de vacío. Bleay, al parecer, indicó que, a temperatura ambiente, el llenado de fibras con todas las resinas no tuvo éxito, a una temperatura inferior (3°C) el tratamiento no tuvo éxito y que el uso tanto de una epoxi de 2 componentes (LY5120) como de una epoxi de 2 componentes de menor viscosidad (MY750) no tuvo éxito. Cuando la temperatura ambiente aumentó hasta 60°C para disminuir la viscosidad, solo se observó una absorción muy pequeña de resinas en las fibras. Con la adición de acetona al 40% en peso se logró algo de éxito cuando tanto el endurecedor como el acelerante se diluyeron.

Pang y col. hicieron referencia, en "Bleeding Composites'-Damage detection and self-repair using a biomimetic approach" (Composites Science and Technology (2002), (In Press)), al uso de fibras de vidrio huecas de 60 micrómetros de diámetro (50% de fracción hueca) en una matriz epoxi, junto con fibras de vidrio E convencional (sólido). Se usaron resina sin curar, un endurecedor y un tinte UV en las fibras huecas y los agentes reparadores se diluyeron con acetona. Se usó una infusión de una película de resina para producir pre-impregnación en una fracción en volumen del 62%. Las fibras macizas son fibras comerciales de 12 micrómetros de diámetro. Las fibras se llenaron por infiltración al vacío después del corte con una sierra de diamante y limpieza por ultrasonidos con agua y los extremos de las fibras

se sellaron manualmente mediante inserción manual de resina epoxi en los extremos de las fibras. Después del daño del impacto, las muestras se dejaron “sanar” durante 24 h a temperatura ambiente. Tales datos mecánicos recogidos muestran que el tiempo de almacenamiento afecta a la eficacia de subsanación aunque los autores afirman que esto puede ser debido a que el sangrado no se produce durante el uso de una mezcla de acetona-resina. Se observa que las resinas modificadas estaban siendo usadas posiblemente para disminuir la viscosidad del material resinoso.

Como consecuencia de la clara incapacidad de las propuestas existentes de satisfacer los requisitos de los solicitantes de sistemas rápidos y a pruebas de fallos fiables y que exhiban muy poco riesgo de fallo los solicitantes, que están especialmente, aunque no exclusivamente, interesados en soluciones de auto-reparación a prueba de fallos, tales como las necesarias para aplicaciones aeronáuticas de alto rendimiento, han llevado a cabo una investigación independiente para tratar los requisitos concretos que acompañan a tales soluciones en el entorno de la ingeniería aeronáutica.

En la construcción de un avión moderno de alto rendimiento, en concreto, aunque no exclusivamente, se están desarrollando y usando paneles de la piel del avión que están formados por materiales de fibras que están embebidas en una matriz de resina. El uso de tales materiales proporciona paneles que, según las fibras elegidas, proporcionan estructuras ligeras que pueden conferir diversas propiedades y características al avión resultante.

Estando formados principalmente por fibras y siendo sometidos a los mismos esfuerzos y deformaciones que estructuras similares formadas por materiales más convencionales tales como metales, aleaciones metálicas y similares, existe la posibilidad real de que una estructura basada en fibras pueda agrietarse o fracturarse o dañarse debido a un impacto por, en el caso de un avión, un objeto del aire tal como un pájaro en vuelo. El daño al panel de un ala de un avión puede ser superficial o puede ser más profundo dentro de ese panel y puede hacerse más grave antes de que se advierta. Esto supone, concretamente, una verdadera posibilidad de delaminación.

Por tanto, un objeto de la presente invención es proporcionar un enfoque significativamente más fiable para la auto-reparación de estructuras que están basadas principalmente en fibras.

La presente invención proporciona, según un aspecto, una estructura como se describe en la reivindicación 1.

Las fibras se pueden ensamblar en una disposición tejida, tricotada, plegada, trenzada o cosida para formar dicho cuerpo de material compuesto. Con una disposición de este tipo las fibras pueden proporcionar un material que se puede usar para diferentes fines en los que una auto-reparación rápida no solo sería deseable sino proporcionarla una seguridad esencial durante su uso. Un ejemplo en el que tal material sería útil es en la fabricación de paracaídas.

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

Tales estructuras en las que las fibras están embebidas en material de resina tienen una rigidez y resistencia adaptadas a la producción de paneles del cuerpo de un vehículo, tal como los que se pueden usar en la fabricación de un avión, vehículos terrestres e hidroaviones.

Una composición de este tipo, tal como se puede usar con la presente invención, puede ser una composición aeróbicamente curable o una composición anaeróbicamente curable, dependiendo de la función de la estructura, y en la que, dentro de la estructura, están situadas las fibras que llevan el fluido. En el caso, por ejemplo, de que el fluido esté alojado en fibras cerca del exterior de la estructura, la composición adhesiva es idealmente una composición aeróbicamente curable, mientras que, si las fibras están a profundidad en una estructura de este tipo y no están expuestas libremente a la atmósfera, entonces es más ventajosa una composición anaeróbicamente curable. Sin embargo, mientras que con una composición aeróbica la presencia de aire ambiente u oxígeno es esencial para el curado, las composiciones anaeróbicas también se pueden usar cerca de la superficie de una estructura según la invención.

Composiciones aeróbicas adecuadas que se han estudiado son resinas epoxi de 2 componentes tales como las comercialmente disponibles con los nombres comerciales de Caldofix®, Speci-Fix-40® y EpoFix®;

resinas epoxi de dos componentes de baja viscosidad tales como las comercialmente disponibles con los nombres comerciales de Serie de adhesivos epoxi ScotchWeld, tipos: DP100 DP105 DP110 DP125 DP190 DP270 DP420 DP460 DP805;

resinas acrílicas de dos componentes de baja viscosidad disponibles con los nombres comerciales de Serie de adhesivos epoxi-acrílicos ScotchWeld DP810 DP820;

poliésteres de 2 componentes tales como los comercialmente disponibles con el nombre comercial de Serifix;

espuma de poliuretano de 2 componentes, por ejemplo, componente 1 UK-H-2051 Elastopor y componente 2 isocianato 2-Lupranat M20S, fabricados por BASF;

ES 2 341 883 T3

5 espumas de poliéster preparadas mediante reacción de un poliol (por ejemplo, dioles y trioles) y ε -caprolactona (o metil- ε -caprolactonas) en las que la apertura del resto lactona es realizada por catalizadores (por ejemplo, octanoato de estaño; catalizadores de apertura de anillo patentados incluyendo base de Schiff/complejos de titanio disponibles en Johnson Matthey Catalysts, RU). El catalizador puede estar presente en el resto alcohol, en el resto lactona o en ambos. También podrían estar presentes en fibras separadas;

Purseal o Purflex (precursor isocianato de Scott Vickers) en una fibra y el catalizador (PurcatF2) en una segunda fibra. Hay alojada agua en una tercera fibra. Mezclando los tres se forma una espuma de poliuretano.

10 De la gama de composiciones adhesivas aeróbicas, seleccionamos una epoxi de 2 componentes (por ejemplo, Caldofix[®], SpeciFix-40[®] y EpoFix[®] de Struers);

15 resinas epoxi de dos componentes de baja viscosidad de 3M[®] (serie de adhesivos epoxi Scotch-Weld de 3M[®], tipos: DP100 DP105 DP110 DP125 DP190 DP270 DP420 DP460 DP805);

resinas acrílicas de dos componentes de baja viscosidad de 3M[®] (serie de adhesivos epoxi-acrílicos Scotch-Weld de 3M[®] DP810 DP820);

20 poliéster de 2 componentes Scotch de 3M[®] (por ejemplo, Serifix de Struers));

espuma de poliuretano de 2 componentes (por ejemplo, componente 1 UK-H-2051 Elastopor y componente 2 isocianato 2-Lupranat M20S, fabricados por BASF);

25 espumas de poliéster preparadas mediante reacción de un poliol (por ejemplo, dioles y trioles) y ε -caprolactona (o metil- ε -caprolactonas) en las que la apertura del resto lactona es realizada por catalizadores de titanio. El catalizador puede estar presente en el resto alcohol, en el resto lactona o en ambos. También podría estar presente en una fibra separada;

30 Purseal o Purflex (precursor isocianato de Scott Vickers) en una fibra y el catalizador (PurcatF2) en una segunda fibra. Hay alojada agua en una tercera fibra. Mezclando los tres se forma una espuma de poliuretano.

La composición en si puede estar en forma de pasta o en una forma más líquida que pueda fluir más fácil y libremente dentro de las fibras.

35 En la forma de pasta se puede hacer uso de cualquiera de las composiciones anteriores, en las que hay materia particulada dispersada en uno o ambos componentes de la resina/resto polimérico. La materia particulada incluye materia particulada fina (orgánica y/o inorgánica) tal como nanopulvo y nanotubos de carbono, fibras finas y nanofibras de carbono, nanopulvo y fibra de sílice. Rellenos de calcogenuros inorgánicos fluorescentes tales como el sulfuro de cinc, telururo de cinc, sulfuro de cadmio y telururo de cadmio, incluyendo los mismos un revestimiento protector de sílice (que mejora su estabilidad en un entorno húmedo).

Algunas composiciones están disponibles en forma líquida. Ejemplos de éstas son resinas epoxi de 2 componentes (por ejemplo, Caldofix[®], SpeciFix-40[®] y EpoFix[®] de Struers);

45 resinas de dos componentes de baja viscosidad de 3M[®] (serie de adhesivos epoxi Scotch-Weld de 3M[®], tipos: DP100 DP105 DP110 DP125 DP190 DP270 DP420 DP460 DP805);

resinas acrílicas de dos componentes de baja viscosidad de 3M[®] (serie de adhesivos epoxi-acrílicos Scotch-Weld de 3M[®] DP810 DP820);

50 poliésteres de 2 componentes (por ejemplo, Serifix de Struers);

55 espuma de poliuretano de 2 componentes (por ejemplo, componente 1 UK-H-2051 Elastopor y componente 2 isocianato 2-Lupranat M20S, fabricados por BASF);

60 espumas de poliéster preparadas mediante reacción de un poliol (por ejemplo, dioles y trioles) y ε -caprolactona (o metil- ε -caprolactonas) en las que la apertura del resto lactona es realizada por catalizadores de titanio. (El catalizador puede estar presente en el resto alcohol, en el resto lactona o en ambos. También podría estar presente en una fibra separada cercana).

Purseal o Purflex (precursor isocianato de Scott Vickers) en una fibra y el catalizador (PurcatF2) en una segunda fibra. Hay alojada agua en una tercera fibra. Mezclando los tres se forma una espuma de poliuretano.

65 La capacidad de la composición del fluido de fluir hacia y desde las fibras está determinada por el diámetro interno de las fibras, la viscosidad del fluido introducido en las fibras, la "humedad" del fluido, la temperatura del fluido y la presión aplicada. Con fibras con un diámetro interno comprendido dentro del intervalo de entre 2 micrómetros y 20 micrómetros, tal como es típico para las fibras usadas en la presente invención, los valores de viscosidad, temperatura y presión son críticos. Si los valores de viscosidad son inferiores a un valor de aproximadamente 1 Nsm⁻² (1000 cP)

ES 2 341 883 T3

el fluido no fluiría sin una presión excesiva, lo que puede conducir a la ruptura de la fibra a través de la cual circula el fluido. En una estructura tal como la que puede ser necesaria en las alas o el fuselaje de un avión, estos criterios son críticos y, si no se evalúan correctamente, pueden poner en peligro vidas. Las composiciones se deben seleccionar de forma que se puedan liberar bajo presión a altitudes superiores a 15.000 metros, a las que la presión y temperatura externas son ambas extremadamente bajas.

La viscosidad de la composición adhesiva de fluido es preferiblemente inferior a aproximadamente 1 Nsm^{-2} (1000 cP) por motivos de facilidad de llenado. Idealmente, inferior a $0,25 \text{ Nsm}^{-2}$ (250 cP). Las composiciones de fluido que se pueden usar en una estructura según la presente invención idealmente tienen viscosidades que son muy inferiores. Por ejemplo, TONE™ ECEQ (caprolactona épsilon) tiene una viscosidad de $0,013 \text{ Nsm}^{-2}$ (13,8 cP) a 20°C , mientras que otra resina adecuada, el isocianato basado en MDI Purseal (de Scott Vickers), tiene una viscosidad de $0,10 \text{ Nsm}^{-2}$ (100 cP) a 20°C , mientras que el catalizador para los mismos tiene una viscosidad de $0,02 \text{ Nsm}^{-2}$ (20 cP) a 20°C .

Con fibras que tienen un diámetro interno de entre $5 \mu\text{m}$ y $10 \mu\text{m}$, el intervalo de viscosidad preferido es idealmente inferior a $0,25 \text{ Nsm}^{-2}$ (250 cP) y, preferiblemente, inferior a aproximadamente $0,10 \text{ Nsm}^{-2}$ (100 cP). Algunas resinas adecuadas que hemos usado son TONE™ ECEQ (caprolactona épsilon), que tiene una viscosidad de $0,013 \text{ Nsm}^{-2}$ (13,8 cP) a 20°C , y el isocianato basado en MDI Purseal (de Scott Vickers), que tiene una viscosidad de $0,10 \text{ Nsm}^{-2}$ (100 cP) a 20°C , mientras que su catalizador tiene una viscosidad de $0,02 \text{ Nsm}^{-2}$ (20 cP) a 20°C .

Estructuras adecuadas para construir las alas y el fuselaje de un avión se construyen idealmente a partir de fibras embebidas que tienen un diámetro externo en el intervalo de aproximadamente 10 micrómetros a aproximadamente 12 micrómetros y un diámetro interno en el intervalo de aproximadamente 5 a aproximadamente 7 micrómetros. Si las fibras tienen diámetros internos y externos que son de una magnitud mayor, entonces, en una estructura tal como la que se contempla en la presente invención, fibras mayores pueden afectar a la integridad estructural y resistencia del panel del ala o fuselaje.

Por tanto, la selección de materiales que se pueden usar tanto para las propias fibras como para las composiciones adhesivas de fluido que llevan es extremadamente importante.

Las propias fibras deben ser de naturaleza frágil, es decir, hechas de un material que tenga propiedades mecánicas que soporten la presión del fluido bombeado en las fibras pero que se rompan por un impacto, tal como el que pueden experimentar durante el vuelo o cuando se someten a un esfuerzo o deformación extraordinarios. Hemos descubierto que las fibras hechas de vidrio son las más adecuadas, aunque ejemplos de otros materiales que se pueden usar son material de fibras de carbono huecas y material de fibras de diamante huecas, así como materiales poliméricos tales como poliésteres (tereftalato), poliamidas (náilon) y polienos (polietileno, polipropileno), siempre que tengan la resistencia y grado de fragilidad necesarios para tales estructuras. Si es necesario, los materiales poliméricos elegidos se pueden reforzar mediante la provisión, por ejemplo, de material de nanofibras de carbono o similares. Cuando se usan fibras macizas dentro de la matriz de resina, éstas también pueden estar formadas por vidrio. Otros materiales de fibras macizas adecuados pueden incluir material de fibras de carbono y materiales poliméricos tales como poliamidas, poliimidas, poliésteres, copolímeros y copolímeros en bloque (sujetos a las mismas condiciones que para las fibras huecas hechas de los mismos), vidrio E, vidrio S, fibra de diamante y vidrio transmisor de IR.

Se entenderá fácilmente que cualquier componente de la composición adhesiva que es transportada por una fibra se puede llevar en un vehículo volátil adaptado para evaporarse en un punto de fractura en una fibra. Por supuesto, es esencial que el vehículo volátil, que puede ser un disolvente del componente, debería tener una velocidad de evaporación muy elevada y no debería interferir de ningún modo con la reacción química que tiene lugar entre los componentes de la composición adhesiva.

El vehículo volátil se puede añadir a cualquier componente o a ambos de cualquiera de los sistemas de dos componentes anteriormente mencionados (y que se vuelven a enumerar posteriormente). La elección del disolvente está determinada en gran medida por la química del sistema de reactivos. Las marcas patentadas de los sistemas de poliuretano de 2 componentes a menudo no contienen aditivos volátiles. Ejemplos de vehículos volátiles que hemos considerado son

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

éteres o alcanos o alquenos volátiles y análogos fluorados de estos tipos que sean adecuados para mezclar con uno o con ambos componentes de un sistema de poliuretano de dos componentes;

éteres o alcanos o alquenos volátiles y análogos fluorados de estos tipos son adecuados para mezclar con uno o con ambos componentes de un sistema de poliéster de dos componentes; y

éteres o alcanos o alquenos volátiles y análogos fluorados de estos tipos son adecuados para mezclar con uno o con ambos componentes de un sistema de poliacrílico de dos componentes.

ES 2 341 883 T3

La elección del vehículo estará determinada por su compatibilidad y miscibilidad con la composición adhesiva.

El requisito de una elevada velocidad de evaporación es, por supuesto, esencial para la reparación de estructuras aeronáuticas en las que es esencial que tanto la evaporación como el posterior curado de cualquier fractura que pueda conducir a una grieta mayor se sellen rápidamente.

Por tanto, la selección de materiales que se pueden usar tanto para las propias fibras como para las composiciones adhesivas de fluido que llevan es extremadamente importante.

Las propias fibras deben ser de naturaleza frágil, es decir, hechas de un material que tenga una resistencia a tracción que soporte la presión del fluido bombeado en las fibras pero que se rompa por un impacto, tal como el que puede experimentar durante el vuelo o cuando se somete a un esfuerzo o deformación extraordinarios. Hemos descubierto que las fibras hechas de vidrio son las más adecuadas. Ejemplos de otros materiales que se pueden usar son material de fibras de carbono huecas y material de fibras de diamante huecas, así como materiales poliméricos tales como poliésteres (tereftalatos), poliamidas (naílones) y polienos (polietileno, polipropileno). Cuando se usan fibras macizas dentro del lecho de resina, éstas también pueden estar formadas por vidrio. Material de fibras de carbono y materiales poliméricos tales como poliamidas, poliimidas, poliésteres, copolímeros y copolímeros en bloque, vidrio E, vidrio S, fibra de diamante y vidrio transmisor de IR.

Anteriormente se mencionaron materiales para fluidos que se pueden usar para proporcionar las composiciones adhesivas de dos componentes que están presentes en las fibras. Usando composiciones adhesivas de dos componentes tales como composiciones de resinas epoxi, que comprenden, como intermediarios, bisfenol A y epiclorohidrina, se mezcla entonces un endurecedor (o agente reticulador) con los componentes intermediarios y, en una estructura según la presente invención, estos tres componentes se pueden combinar de diversas formas, aunque los criterios primordiales son que se combinen rápidamente y en las proporciones correctas y se curen rápidamente a la temperatura predominante.

Con este fin, una única fibra puede llevar los componentes intermediarios mezclados mientras que una fibra adyacente puede llevar el agente reticulador, teniendo las propias fibras un diámetro interno suficiente como para permitir que los componentes sean liberados en cualquier punto de fractura de las fibras, de forma que se mezclen en las proporciones correctas. La presión mantenida en las fibras también puede ser controlada y ajustada con el mismo fin, es decir, se puede controlar la velocidad de liberación de los componentes en cualquier punto de fractura para garantizar la correcta dosificación de los componentes. Con este fin, también se debe controlar la temperatura de los componentes para garantizar que la viscosidad de los materiales dentro de las fibras y la temperatura ambiente para que los componentes tengan efecto con certeza en el punto de fractura se puedan mantener correctamente.

Cuando se usan composiciones adhesivas termocurables o termoestables en las fibras huecas, puede ser ventajoso proporcionar un calentamiento adicional para ayudar a acelerar el curado de la composición. Con este fin, las fibras adyacentes a las fibras huecas que llevan la composición adhesiva están huecas y tienen elementos calefactores que se extienden a través de las mismas. El elemento calefactor se puede proporcionar mediante elementos calefactores de hilos resistivos tales como cobre, níquel, aleaciones níquel-hierro (por ejemplo, NIFETHAL 70 Y NIFETHAL 52 de Kanthal Global), fibra de carbono revestida con níquel (Thermion Systems), hilo de carburo de silicio (de Kanthal Global) y fibra de carbono. Alternativamente a la extensión de elementos calefactores a través de fibras huecas adyacentes, se pueden hacer pasar fluidos calientes a través de fibras huecas dedicadas (por ejemplo, agua, aceites ligeros, etilenglicol y fluidos de silicona). Como una fuente alternativa adicional de calentamiento, se pueden introducir en las fibras huecas hilo magnético que se pueda calentar inductivamente, preferiblemente en forma de un revestimiento de las superficies interiores de las fibras (por ejemplo, hilo de hierro, hilo de cobalto, hilo de níquel, aleaciones de los mismos e hilos de otros materiales ferromagnéticos). Como una alternativa adicional, las fibras huecas pueden contener un fluido que absorba fuertemente microondas y se caliente así en las partes en las que el fluido usado se ha adaptado para absorber a una frecuencia diferente a la de la matriz circundante. Algunas composiciones adhesivas tales como composiciones de cianoacrilato y de resina epoxi son inherentemente exotérmicas cuando se curan y no necesitan calor adicional para realizar el curado.

Para maximizar la funcionalidad de una estructura según la presente invención, en vez de dedicar fibras específicas a tales funciones como el calentamiento, las fibras que llevan la composición adhesiva o cualquier catalizador o acelerador o similar proporcionados en las mismas pueden estar revestidas con un material eléctricamente resistivo por lo que, cuando se aplica potencial eléctrico a las mismas, las fibras se pueden calentar. Se pueden usar materiales resistivos adecuados, tales como cobre, níquel, aleaciones níquel-hierro (por ejemplo, NIFETHAL 70 Y NIFETHAL 52 de Kanthal Global), carburo de silicio (de Kanthal Global) y carbono revestido con níquel (Thermion Systems), fibra de carbono y fibra de carbono metalizada, para proporcionar tal revestimiento. El revestimiento puede ser interno o externo respecto a la propia fibra.

Cuando el revestimiento es interno, se puede formar mediante deposición de vapor, condensación, deposición no electrolítica, reacción química, procesos con polioles u otras técnicas adecuadas. Los materiales más adecuados para revestimiento interno son cobre, plata, estaño, cobalto, níquel, hierro y aleaciones de éstos. El criterio primario, por supuesto, para seleccionar el revestimiento interno es que no tenga interacciones con o tenga un efecto sobre cualquier composición adhesiva que esté presente en o se use en la propia fibra.

ES 2 341 883 T3

Cuando las fibras están revestidas externamente con el material de calentamiento eléctricamente resistivo, el criterio primario de tales revestimientos externos es que no debiliten la integridad de la unión entre las fibras y el lecho de resina en el que están embebidas. Por tanto, el revestimiento puede proporcionarse mediante un revestimiento metálico tal como níquel, cobalto, cobre, aleaciones de níquel, aleaciones de cobre y aleaciones de cobalto/níquel, así como revestimientos de carbono.

Como alternativa a o además de estas formas de calentamiento, también es posible proporcionar fibras adyacentes a las fibras huecas del conjunto como fibras macizas formadas por un material que tenga una resistencia eléctrica, proporcionando elementos calefactores para calentar la composición adhesiva. Cuando se considera adecuado, las fibras macizas están provistas, por ejemplo, de elementos calefactores de hilos resistivos tales como cobre, níquel, aleaciones níquel-hierro (por ejemplo, NIFETHAL 70 Y NIFETHAL 52 de Kanthal Global), hilo de carburo de silicio (de Kanthal Global), fibra de carbono revestida con níquel (Thermion Systems) y fibra de carbono.

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

Una composición adhesiva como se usa en una estructura según la presente invención puede ser una composición curable con UV o radiación en la que la el conjunto de fibras huecas está situado en o adyacente a una superficie externa de su respectiva estructura. Composiciones adecuadas son resinas epoxi curables con UV, resinas de uretano curables con UV y, como se indicó anteriormente, sistemas tiol-eno en los que la reticulación entre el compuesto tiol y el compuesto eno se produce mediante exposición a radicación UV.

Cuando, por ejemplo, se usan composiciones fuertemente exotérmicas en las fibras huecas de un conjunto, se considera una precaución de seguridad para evitar el sobrecalentamiento localizado proporcionar un conjunto secundario de fibras huecas íntimamente asociado con el primer conjunto para llevar fluido refrigerante a los fuegos que se pueden producir en una reacción exotérmica de este tipo. El agua pura se considera el refrigerante óptimo, puesto que tiene la mayor capacidad calorífica conocida de los fluidos refrigerantes. Sin embargo, cuando, como en un avión, por ejemplo, especialmente pero no exclusivamente en una avión comercial, se proporcionan sistemas de aire acondicionado, entonces el segundo conjunto de fibras puede estar acoplado para inyectar fluidos refrigerantes tales como mezclas refrigeradas de glicol/agua, salmuera refrigerada o fluidos de transferencia de calor refrigerados tales como siliconas sintéticas (por ejemplo, como las suministradas por Dow (DOWTHERM* SYLTHERM** DOWFROST* DOWCAL* UCARTHERM™).

Los conjuntos de fibras de una estructura según la presente invención pueden estar dispuestos en capas al menos básicamente paralelas a las superficies principales de la estructura o pueden estar dispuestos de muchas otras formas, dependiendo de la(s) función(es) que realice la estructura. Cuando, por ejemplo, la estructura está diseñada para proporcionar capacidad de camuflaje, tanto visual como electromagnéticamente (para evitar la detección por radares, por ejemplo), esas fibras que están asociadas a conferir tal funcionalidad están dispuestas generalmente cerca de la superficie de la estructura. Las disposiciones de fibras que llevan la composición adhesiva están distribuidas por estas capas hasta un grado que garantiza que la composición adhesiva que es forzada a través de las fibras en caso de fractura alcance toda la extensión de la fractura y la cierre. Con este fin, la estructura se puede diseñar de forma que la composición adhesiva que está prevista para un uso en tales sectores o regiones de la estructura simule las características de los materiales llevados por esas fibras que realizan esas otras funciones. Por tanto, por ejemplo, cuando las fibras están previstas para uso en que llevan fluidos que afectan a la señal de radar de la estructura entonces se puede dotar a la propia composición adhesiva que es suministrada a esa parte de la estructura de propiedades similares de forma que, en caso de fractura, la composición adhesiva que tiene propiedades similares se usa para sellar y reparar la fractura.

Claramente, una estructura según la presente invención incluiría ventajosamente un medio sensor para detectar cualquier fractura en una fibra, estando provisto el medio sensor de un conjunto adicional de fibras intercalado en dicho primer conjunto de fibras huecas. Con este fin, la fibra eléctricamente conductora que experimenta un cambio de resistencia con el daño (un cambio de resistencia como resultado del daño produciendo un cambio en el área transversal o una fractura parcial o un efecto circuito abierto con una fractura total) se puede usar en la estructura para detectar cualquier distorsión, cambio de presión mecánica en un entorno local o una fractura en la estructura. El medio sensor incluye fibras eléctricamente conductoras que serán de plata, oro, cobre, estaño u otros metales altamente conductores, o de fibra de carbono, o de fibra hueca internamente metalizada que se puede usar para un calentamiento resistivo, por ejemplo, plata, cobre, estaño, níquel, cobalto o aleaciones Ni/Co. Se pueden usar también con el mismo propósito elastómeros de efecto túnel cuántico (QTC) o materiales piezoeléctricos (por ejemplo, revestimientos sobre fibras) o materiales triboluminiscentes.

Se pueden revestir fibras individuales con un material eléctricamente conductor que se puede seleccionar de fibra huecas internamente metalizada de elevada conductividad eléctrica (plata o cobre o estaño), un QTC y una fibra hueca o maciza externamente metalizada (plata, cobre, estaño, níquel, cobalto, aleaciones cobalto/níquel, aluminio y muchos otros metales). También se prevé según la presente invención que se puedan usar, por ejemplo, enfoques fotónicos y de guiado de luz para detectar cuándo se produce una fractura.

Al menos uno de los dos componentes de la composición adhesiva se puede colorear con fines identificativos. Ejemplos de agentes colorantes adecuados son materiales nanoparticulados de carbono tales como fullerenos o nano-

ES 2 341 883 T3

tubos de carbono o nanofibra de carbono; compuestos nanoparticulados fluorescentes y coloreados de la combinación de elementos del grupo IIB y VIb tales como sulfuro de cinc, seleniuro de cinc, telururo de cinc, sulfuro de cadmio, seleniuro de cadmio, telururo de cadmio, seleniuro de mercurio, etc., y ejemplos de éstos en los que las nanopartículas tienen un revestimiento de sílice para mejorar la estabilidad con la humedad;

pigmentos orgánicos e inorgánicos habitualmente usados en la industria de pintura y textil, incluyendo tintes acrílicos coloreados (por ejemplo, PDI 22-88032, colorante negro de baja viscosidad disponible en “Ferro”);

colorantes líquidos tales como SPECTRAFLO® (Ferro); y

colorantes acrílicos CHROMA-CHEM®.

La composición de dos componentes se puede seleccionar también de composiciones adhesivas que experimentan un cambio de color cuando curan. Alternativamente, las fibras huecas pueden contener fluidos con códigos de colores para indicar las diferentes regiones de la estructura de forma que, en caso de que se produzca una fractura en la misma, el fluido puede fluir desde las fibras y la ubicación de una fractura se puede identificar visualmente.

El agente de curado se puede proporcionar en suspensión en un fluido vehículo usando, por ejemplo, un endurecedor tipo amina diluido en halosolventes polares tales como triclorometano, diclorometano, monoclora y policloro alcanos y alquenos; dimetilformamida; n-metilpirrolidona; y/o un disolvente aromático tal como tolueno. Alternativamente, el agente de curado se puede proporcionar en forma encapsulada, mientras que el material resinoso sin curar se puede proporcionar en suspensión en un fluido vehículo. Fluidos vehículo adecuados son:

endurecedores tipo amina diluidos en halosolventes polares tales como triclorometano, diclorometano, monoclora y policloro alcanos y alquenos; dimetilformamida; n-metilpirrolidona; y disolventes aromáticos tales como tolueno.

Además, el material resinoso sin curar se puede proporcionar en forma encapsulada.

La matriz del material de resina curada en la que las fibras huecas están embebidas puede comprender un acelerador, agente de curado y/o catalizador para la composición de dos componentes contenida dentro de las fibras huecas siempre que el acelerador, agente de curado/catalizador no sea uno que interactúe con la matriz de resina curada. Un catalizador de Grubb dedicado puede cumplir una función de este tipo.

La presente invención también proporciona un avión que comprende una estructura de fuselaje, medios motrices montados en la estructura de fuselaje para impulsar el avión y una piel fabricada que encierra la estructura de fuselaje, estando la piel fabricada formada por una pluralidad de paneles, cada uno de los cuales está provisto de una estructura según la presente invención.

La presente invención proporciona además un procedimiento de reparación de una fractura en una estructura según se desvela en la reivindicación 23.

A continuación se presenta una descripción detallada, que se debe leer en referencia a las figuras 9 a 21 de los dibujos adjuntos, de procedimientos y estructuras según la presente invención que se han seleccionado para la descripción para ilustrar la invención a modo de ejemplo, pero no de modo limitativo.

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

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

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

la fig. 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 se puede usar en una estructura según la presente invención;

la fig. 17 es una vista fotográfica ampliada desde un extremo de un conjunto experimental de fibras que comprende un clúster de más de 200 fibras dentro de una estructura tal como se muestra en la figura 7;

la fig. 18 es un diagrama esquemático parcial que muestra el modo en el que los materiales del fluido se pueden suministrar en y desde las fibras de una estructura según la presente invención;

la fig. 19 es una ilustración esquemática que muestra el modo en el que un conjunto de fibras que usa la composición adhesiva se puede acoplar a disposiciones de válvulas y bombas para una estructura según la presente invención.

En referencia en primer lugar a las figuras 9 a 13, se debe entender que estas imágenes ilustran el principio fundamental en que se basa la presente invención. Este principio fundamental está basado en el uso de presión aplicada tanto para rellenar las fibras de una estructura como para mantener esa presión sobre los fluidos en las fibras cuando se usa la estructura, como parte del fuselaje o ala de un avión o en cualquier otro uso funcional. Como se explica

posteriormente, la presión se aplica ventajosamente mediante suministro presurizado del fluido. A pesar de todo el trabajo que se ha llevado a cabo y publicado en este campo, y en el que no se hace referencia al uso de presión positiva, hemos descubierto que la presencia de presión positiva es crítica para asegurar y garantizar el uso exitoso de materiales adhesivos fluidos eficaces en fibras huecas tales como las que se usan en cuerpos de materiales compuestos basados en fibras contruidos principalmente de fibras dentro del intervalo de tamaño contemplado en la presente invención. Sin aplicación de presión no es posible usar, de forma fiable y exitosa, composiciones adhesivas de la consistencia que permitirá el curado rápido de sus componentes, debido a las variaciones de viscosidad de esos componentes cuando son sometidos a las coacciones de las condiciones del ambiente (la falta de aplicación de presión también produce una limitación del tamaño de cualquier reparación que se pueda realizar en la estructura). En decir, cuando se aplica, por ejemplo, al ala de un avión que puede incorporar una estructura según la presente invención, los cambios de temperatura debidos a la variación en la altitud del avión pueden tener un efecto considerable en la viscosidad de un fluido hasta un punto que no pueda garantizarse que fluya en esas condiciones del ambiente o a una velocidad suficientemente predecible como para que se pueda asegurar la combinación de fluidos sin aplicación de presión a través de las fibras.

Para demostrar esto, llevamos 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 analizados anteriormente, el panel 10 tejido mostrado en las figuras 9 a 13 es similar en todos los aspectos del material al mostrado en las figuras 1 a 8 y está abierto en los extremos en cada extremo. No obstante, en este caso, los extremos de las fibras se conectaron a una cámara 20, 22 cilíndrica en cada extremo con un pistón 24 proporcionado en la cámara 20, de forma que se podía ejercer presión sobre el fluido presente en la cámara. El pistón, o émbolo, se dispuso de forma que la presión que se podía ejercer se podía ajustar con fines experimentales. Como antes, las fibras se rellenaron con agua purificada que incluía un agente colorante proporcionado por un colorante alimentario comercial que era el mismo que el usado en los ensayos que se llevaron a cabo y describieron en referencia a las figuras 1 a 8. Al igual que en los experimentos realizados con disposiciones no presurizadas, como se analizó en referencia a las figuras 1 a 8, se usó la punta de un destornillador para romper las fibras del panel, como se muestra en la figura 9, mientras se ejercía presión por simple presión con los dedos mediante el pistón 24. La punta del destornillador se retiró inmediatamente del panel 10 dejando una rotura 26 en el panel en la que las fibras estaban rotas, como se muestra en la figura 10. Después de menos de un segundo, se observó que salla fluido de las fibras rotas como se muestra en la figura 11. Después de un periodo adicional de aproximadamente 0,5 segundos se observó que el fluido que salla se habla extendido a lo largo de toda la longitud del corte hecho por la punta del destornillador, como se muestra en la figura 12, y, después de ello, dentro de los dos segundos posteriores a la perforación con la punta del destornillador, se habla formado una perla de material sobre la superficie del panel, 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 epoxi de dos componentes y, después, con una composición de resina de cianoacrilato de dos componentes rellenando las fibras huecas, estando cada composición coloreada con un colorante adecuado. 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 etapas de un experimento adicional llevado a cabo para establecer una prueba del concepto.

Una segunda red, similar a la mostrada en las figuras 9 a 13, se trató de modo similar a la red de las figuras 9 a 13. Sin embargo, este panel se perforó en diversos lugares y no solo una vez, como se muestra en las figuras anteriores. Cada una de las ubicaciones en las que se rompieron las fibras con la cabeza del destornillador se designa con el número 26.

En la figura 14 se realizaron dos incisiones iniciales en los puntos 26a y 26b que estaban separadas en la dirección de las fibras de trama, es decir, transversalmente a la anchura del panel y, como se puede observar en la figura 14, el fluido presurizado en las fibras, que era el mismo que se usó en cada uno de los experimentos iniciales descritos en referencia a las figuras 1 a 13, salla de los puntos de fractura, como se observó en los experimentos ilustrados en las figuras 9 a 13.

Las fibras se rompieron entonces en rápida sucesión en los puntos 26c, 26d y 26e y las fibras se cortaron con la punta de un destornillador para escribir las letras "P" y "W" sobre la red, como se muestra en el punto 27.

En cada caso, el fluido coloreado procedía de las ubicaciones en las que las fibras se hablan roto. Lo que se debe destacar, no obstante, es que, aunque las incisiones individuales se hicieron "aguas arriba", esto no afecta al hecho de que el fluido también procede de las mismas fibras aguas abajo respecto a las fracturas iniciales, demostrando así que una estructura según la presente invención tiene la capacidad de continuar funcionando.

En la figura 16 se puede observar que la estructura mostrada en la misma comprende una pluralidad de fibras huecas dispuestas en estratos o capas 30. Las propias fibras tienen principalmente cada una un diámetro externo en el intervalo de 10 μm a 20 μm , excepto que se indique lo contrario, y tienen un diámetro interno de entre 2 μm y 16 μm , dependiendo del espesor de pared de la fibra. Como se muestra en la figura 10, que es una imagen fotográfica de una disposición experimental de tales fibras embebidas en y mantenidas en su sitio por una resina epoxi para formar un cuerpo de material compuesto de fibras embebidas que, como se puede deducir de la figura, tienen un diámetro

ES 2 341 883 T3

externo en el intervalo de aproximadamente 10 μm a 12 μm . Como también se puede observar en la figura 17, la mayoría de las fibras son fibras huecas que tienen un diámetro interno en el intervalo de 5 μm a 7 μm . 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, el control de ambos diámetros interno y externo se ejercería para garantizar mayor uniformidad cuando fuese necesario. Sin embargo, se debe apreciar también que, como se analiza posteriormente, no siempre es adecuado que todas las fibras sean de dimensiones interna y externa uniformes.

Las fibras huecas de una estructura tal como la mostrada en las figuras 16 y 17 están formadas por vidrio que puede ser reforzado. También se pueden usar otros materiales para formar las fibras, siempre que permitan una unión fuerte con la resina circundante. Además de adecuarse a la resina, la propia resina y quizás las fibras deben tener también un grado de fragilidad que permita que se fracturen bajo cualquier esfuerzo, deformación o impacto tales como los que se pueden producir en su entorno previsto. Por tanto, cuando una estructura de este tipo se usa en la piel de un avión, la propia estructura se puede flexionar durante el vuelo, especialmente cuando la estructura forma el panel de un ala, y la estructura de fibras debe permitir tal flexión sin que se agriete o fracture dentro de un intervalo de tiempo predeterminado. Sin embargo, cuando una estructura de este tipo es sometida, por ejemplo, a un impacto, cuando tal impacto produce daños, la estructura debe ser capaz de responder a esos daños en el punto de impacto.

Como se muestra en la figura 16, la estructura comprende fibras asociadas con diferentes funciones necesarias de la estructura, incluyendo camuflaje. Entre esas fibras, y distribuidas uniformemente por la estructura, hay conjuntos de pares de fibras para uso de la composición(es) adhesiva(s) de dos componentes, además de, o alternativamente a, el uso para cualquier otra funcionalidad. Tales pares de fibras se indican con el número 32, conteniendo o llevando una fibra 34 de cada par un material resinoso sin curar como componente de una composición resinosa curable de dos componentes y comprendiendo la otra 36 un agente de curado de la composición resinosa de dos componentes, de forma que, en caso de que se produzca una fractura en un conjunto de fibras, los dos componentes de la composición pueden salir de las fibras con presión para que se combinen en la región de la fractura y alrededor de las fibras para rellenar cualquier cavidad producida por la fractura y, entonces, pueden curar y cerrar la fractura. Una característica importante de la presente invención es que la presión se aplica a los fluidos porque si no, como sucede en la técnica anterior, los componentes del adhesivo podrían combinarse simplemente en la superficie común de los componentes y comenzar a curar dentro de las propias fibras, bloqueando así el flujo adicional de material del fluido hasta el punto de fractura.

Se observará, a partir del estudio de la figura 16, que los pares de fibras 32, 34, están separados entre sí. No es esencial que los pares de fibras sean adyacentes, como hubiera sido necesario con una disposición no presurizada, en la que la dependencia de la filtración no presurizada haría necesario que los pares de fibras estuviesen menos separados. Con un sistema presurizado, la presión ejercida sobre los fluidos en las fibras puede hacer que los materiales del fluido dentro de las fibras sean forzados a permear cualquier grieta o fractura que se pudiera producir adyacente al punto de fractura.

Con este fin, como se describe posteriormente, las fibras se conectan a depósitos de fluidos de forma que cualquier migración de fluido bajo presión desde las fibras se puede rellenar inmediatamente y la presión se puede mantener.

Como se analizó anteriormente, la composición puede ser una composición anaeróbicamente curable o una composición aeróbicamente curable.

45

Ejemplo

Se usó una resina de dos componentes "Epofix" de Struers. El resto endurecedor tipo amina se usó sin diluir mientras que el resto epoxi se diluyó con un disolvente para facilitar el llenado de las fibras. El DI de las fibras era del orden de 5 μm . El llenado de las fibras se llevó a cabo entre 20°C y 25°C. Las proporciones en peso de resina, diluyente y endurecedor son las que se muestran a continuación.

55	Epoxi	Disolvente (partes)	Endurecedor
	2500	acetonitrilo (200)	300
	2500	acetona (500 ml)	300
60	2500	cloroformo (500 ml)	300
	2500	diclorometano (500)	300

65 La mezcla se curó a temperatura ambiente durante aproximadamente 12 horas en un primer experimento y en 2 horas en un segundo experimento cuando la temperatura se mantenía a 60°C.

Un experimento adicional usando fibras de mucho mayor DI (orificio 60 μm) mostró que la cantidad de disolvente podía ser de la mitad.

Una composición adhesiva de dos componentes que se puede usar en una estructura según la presente invención puede, como se ha indicado previamente, ser una composición termocurable o termoestable.

Si se van a usar composiciones termocurables o termoestables, una fibra adyacente a una fibra que lleva adhesivo puede proporcionar un medio de calentamiento para calentar la composición para acelerar el curado o endurecimiento bien en forma de un elemento calefactor o bien en forma de un fluido calefactor o, también como se analizó anteriormente, la propia fibra que lleva la composición adhesiva puede estar revestida, bien interna o bien externamente, con un revestimiento resistivo que puede conducir corriente y calentar la fibra y su contenido.

Uno o varios componentes de la composición se puede colorear con fines identificativos usando una gama de tintes patentados o agentes colorantes. Alternativamente, la composición de dos componentes se puede seleccionar de una composición adhesiva que experimente un cambio de color cuando cura. Una composición adecuada es Tra-Bond F230 suministrada por Tra-Con Inc. que en estado no curado es verde claro y- en estado curado es ámbar rojizo.

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

Los pares 32 de fibras 34, 36 están, según la presente invención, conectados a depósitos de composiciones adhesivas, como se muestra en la figura 18. Estas fibras se muestran en la figura 16 dispuestas en grupos 38, 40 y 42 con los fines descritos posteriormente.

El medio para llenar y vaciar y sustituir los componentes de las composiciones adhesivas en las fibras y para mantener esos componentes de los fluidos bajo presión se proporciona mediante sistemas presurizados proporcionados mediante unidades 44 de válvula que pueden ser específicas para cada grupo de fibras o pueden ser específicas para cada componente de tales composiciones, o ambos. Como se muestra en la figura 18, tales unidades de válvula se muestran conectadas a los grupos específicos de fibras. Los sistemas de presión comprenden además una pluralidad de unidades 46 de bomba que pueden suministrar componentes de los fluidos desde los depósitos 48 de componentes a las fibras 38, 40 y 42 bajo el control de dispositivos 50 sensores de presión que están dispuestos para detectar cualquier cambio de presión en las fibras. El tercer grupo de fibras 42 puede servir para suministrar un acelerante o un catalizador o ambos a las fibras de forma que, puesto que las fibras se fracturan en cualquier ubicación, tal acelerante o catalizador se puede liberar en el punto de fractura para favorecer el curado de los componentes de la composición adhesiva. Además de los depósitos de fluidos que almacenan los componentes de las composiciones adhesivas, se pueden proporcionar depósitos adicionales (no mostrados) para diluir componentes de los fluidos si fuera necesario. Cada uno de los depósitos se puede desacoplar de las unidades de válvula de forma que los componentes de los mismos se pueden sustituir o rellenar según sea necesario para adaptarse a las circunstancias predominantes. Los depósitos 48 y las unidades 44 de válvula idealmente son separables de las fibras, como se explicó en referencia a la figura 19.

La figura 19 es una vista esquemática que muestra el modo general en el que las unidades 44 de válvula y depósitos 48 de la figura 18 se pueden acoplar a y desacoplar de las fibras y se explica en referencia a un único conjunto 38 de los tres conjuntos de fibras 38, 40 y 42 mostrados en la figura 18. Se debe entender claramente que, aunque la figura 19 ilustra sólo el modo general de acoplamiento de un conjunto de fibras, se puede adoptar el mismo enfoque para todos los conjuntos de fibras. Cuando están previstos diferentes conjuntos de fibras para contener los mismos materiales, se puede realizar el suministro a todos esos conjuntos desde el mismo depósito o desde diferentes depósitos que contienen los mismos materiales.

Una alternativa al uso de bombas, microbombas o similares sería el uso de sistemas neumáticos o hidráulicos automáticamente controlados que se podrían fijar a las fibras y ejercer presiones preestablecidas sobre los fluidos de las fibras.

Dependiendo de los materiales de los fluidos que están contenidos dentro de las fibras huecas, la presión aplicada a esos fluidos puede variar. No siempre es necesario o adecuado, como con algunas resinas epoxi comerciales, suministrar iguales cantidades de componentes de una composición adhesiva a un punto de fractura. Por ejemplo, estén disponibles resinas epoxi que están disponibles en Henkel Aerospace Group con el nombre comercial de Loctite, en las que la proporción entre la cantidad de componentes de la resina y la del agente de curado o endurecedor es de aproximadamente 20:1. Con fibras tales como las que se han usado en una estructura según la presente invención, no es una tarea fácil colocar las fibras dentro de la estructura de forma que puedan ser de diámetros internos relativos tales que produzcan el suministro de componentes y agente de curado/endurecedor en tales proporciones. En su lugar, la presente invención pretende solucionar este aspecto haciendo que las unidades de bomba u otras fuentes de presión que se puedan usar y/o las unidades de válvula se estén controladas de forma que, a la vez que se mantiene la presión en las fibras respectivas, se mantiene una presión adecuada en las fibras para suministrar las cantidades correctas de materiales de fluidos en caso de fractura.

Las fibras de un único conjunto 38 se entremezclan y disponen dentro de un bloque de resina curada que está montado en una carcasa 52. Esta carcasa 52 se puede montar con un acoplamiento sellable en una carcasa 54 que aloja la unidad de válvula asociada y la unidad de bomba (no mostrada) y puede fijarse a la misma mediante sujetadores de cierre rápido o similares (tampoco mostrados). La carcasa 54 está unida mediante un tubo flexible 56 de entrada a un depósito adecuado (no mostrado) en el que se almacena una composición adhesiva. El depósito puede estar a temperatura controlada para mantener la composición en estado óptimo. El propio depósito se puede desacoplar de la válvula y unidades de bomba de forma que se pueda rellenar o sustituir cuando sea necesario y la unidad de válvula y la unidad de bomba se pueden desmontar con fines de limpieza y mantenimiento. El uso de depósitos que se pueden desacoplar fácilmente de las fibras de una estructura tiene la ventaja, respecto a la técnica anterior, de que hace que la estructura sea reconfigurable de forma que la estructura se pueda hacer “específica para una tarea”. Una ventaja adicional es que se evitan problemas con la “vida útil” de las composiciones porque es posible usar depósitos “conectados” “al día” de materiales. La estructura también es “recargable”. La capacidad de tener una disposición presurizada también puede favorecer el sellado del lugar dañado sin bloquear necesariamente la arteria. El uso de múltiples fibras huecas de pequeño diámetro permite la redundancia.

Como se mencionó anteriormente, los componentes individuales pueden ser coloreados individualmente, de forma que se pueden identificar fácilmente. Alternativamente, los componentes se pueden seleccionar de aquellos que, cuando se combinan, puedan cambiar de color para proporcionar una fácil identificación según sea necesario. La coloración de los componentes puede suponer una ventaja significativa en un sistema de auto-reparación como el aplicado, por ejemplo a un avión, en el que se pueden producir daños y es más probable que se produzcan mientras el avión está en vuelo, y el daño es reparado mientras el avión está en vuelo para que se evalúe cuando el avión haya aterrizado. Aunque se puede realizar la auto-reparación con una estructura según la presente invención y la realización de un procedimiento según la presente invención, es esencial el hecho de que se tiene que observar la propia auto-reparación. El coloreado ayuda a hacerlo.

Se pueden adoptar 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.

Se apreciara fácilmente a partir de la descripción anterior que el concepto de auto-reparación de la presente invención es aplicable a la reparación de materiales textiles así como a cuerpos rígidos tales como paneles de aviones. Los materiales textiles pueden estar formados de fibras naturales y/o sintéticas y pueden incluir conjuntos de fibras dentro de los mismos o estar contruidos a partir de fibras que tienen la capacidad de auto-reparación. Por ejemplo, materiales textiles de algodón o seda, que son materiales basados en queratina, pueden incluir fibras huecas en los mismos que contienen queratina, que son cadenas polipeptídicas, en algunas de las fibras y un agente de reticulación en fibras adyacentes de forma que, en caso de rasgado en un tejido de este tipo, está disponible la capacidad de auto-reparación. Cuando se usan fibras hechas por el hombre o sintéticas se pueden incluir fibras huecas que contienen los fluidos de auto-reparación adecuados. También es posible, dentro del alcance de la invención como se define en las reivindicaciones, crear materiales textiles completamente de tales fibras huecas.

REIVINDICACIONES

1. Una estructura que comprende una pluralidad de fibras huecas que están ensambladas para formar un cuerpo de material compuesto, estando dispuestas las fibras en pares, conteniendo una fibra de cada par un material resinoso sin curar como componente de una composición resinosa curable de dos componentes y comprendiendo la otra un agente de curado de la composición resinosa de dos componentes, siendo dicha una fibra de cada par conectable a un primer depósito de dicho material resinoso sin curar, pudiéndose suministrar desde dicho primer depósito dicho material resinoso sin curar a dicha una fibra de cada par bajo presión, y siendo dicha otra fibra de cada par conectable a un segundo depósito de dicho agente de curado, pudiéndose suministrar desde dicho segundo depósito dicho agente de curado a dicha otra fibra de cada par bajo presión, por lo que, en caso de que se produzca una fractura en cualquiera de las fibras, se produce la combinación de los dos componentes en la región de la fractura para permitir el curado de la composición y el sellado de la fractura.
2. Una estructura según la reivindicación 1, en la que la composición es una composición aeróbicamente curable.
3. Una estructura según la reivindicación 1, en la que la composición es una composición anaeróbicamente curable.
4. Una estructura según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en la que la composición está en forma de pasta.
5. Una estructura según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en la que la composición está en forma líquida.
6. Una estructura según la reivindicación 1 o la reivindicación 2, en la que al menos un componente de la composición adhesiva lo lleva un vehículo volátil adaptado para evaporarse en un punto de fractura en una fibra.
7. Una estructura según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, en la que cada una de las fibras huecas tiene un diámetro externo de hasta aproximadamente 100 micrómetros.
8. Una 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 micrómetros.
9. Una estructura según la reivindicación 7 o la reivindicación 8, en la que la viscosidad de la composición de fluidos es inferior a 1000 cP.
10. Una estructura según la reivindicación 9, en la que la viscosidad de la composición de fluidos es inferior a 250 cP.
11. Una estructura según la reivindicación 8, en la que cada una de las fibras huecas tiene un diámetro externo en el intervalo de aproximadamente 10 micrómetros a aproximadamente 12 micrómetros.
12. Una estructura según la reivindicación 11, en la que cada una de las fibras huecas tiene un diámetro interno en el intervalo de aproximadamente 5 micrómetros a aproximadamente 7 micrómetros.
13. Una estructura según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 12, en la que al menos una fibra de cada grupo de fibras es adyacente en la matriz a un par asociado de fibras, proporcionando la al menos una fibra un medio calefactor para calentar al menos una de las fibras de dicho par asociado de fibras.
14. Una estructura según la reivindicación 13, en la que la al menos una fibra comprende una fibra eléctricamente resistiva.
15. Una estructura según la reivindicación 14, en la que el hilo eléctricamente resistivo comprende una fibra hueca que tiene un elemento calefactor que se extiende a través de la misma, estando formado el elemento calefactor por un material seleccionado del grupo constituido por cobre, níquel, aleaciones de níquel-hierro, hilo de carburo de silicio, fibra de carbono recubierta con níquel y fibra de carbono.
16. Una estructura según la reivindicación 15, en la que la al menos una fibra es una fibra hueca que tiene un material eléctricamente resistivo que reviste las superficies internas de la fibra.
17. Una estructura según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 16 en la que las fibras huecas están formadas por materiales seleccionados del grupo constituido por carbono, vidrio y material polimérico.
18. Una estructura según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 17, y que comprende adicionalmente fibras macizas que están formadas por materiales seleccionados del grupo constituido por carbono, vidrio y material polimérico.
19. Una estructura según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 18, en la que al menos uno de los dos componentes de la composición resinosa incluye un agente colorante con fines identificativos.

ES 2 341 883 T3

20. Una estructura según la reivindicación 19, en la que la composición de dos componentes se selecciona de composiciones adhesivas que experimentan un cambio de color cuando curan.

5 21. Una estructura según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 20, en la que el agente de curado se proporciona en un fluido vehículo.

22. Un vehículo aéreo, terrestre o acuático que incluye una o más estructuras como se expone en una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 21.

10 23. Un procedimiento de reparación de una fractura en una estructura formada por una pluralidad de fibras que forman un cuerpo de material compuesto, incluyendo la pluralidad de fibra uno o más conjuntos de fibras huecas, comprendiendo el o cada conjunto de pares de fibras, comprendiendo una fibra de cada par material resinoso sin curar como componente de una composición resinosa curable de dos componentes y comprendiendo la otra un agente
15 de curado de la composición resinosa de dos componentes, por lo que, en caso de que se produzca una fractura en un conjunto de fibras, los dos componentes de la composición se pueden combinar en la región de la fractura cerca de la fractura, siendo mantenido cada componente de la composición de dos componentes bajo presión dentro de su respectiva fibra de forma que, en el punto de fractura, se produce la combinación de los dos componentes para permitir el curado de la composición, comprendiendo el procedimiento las etapas de suministrar dichos pares de fibras con los componentes primero y segundo de la composición adhesiva bajo presión desde los depósitos de dichos componentes
20 primero y segundo de la composición adhesiva, de forma que cada componente se puede liberar en un punto de fractura para permitir dicha combinación de los mismos y realizar el curado para sellar dicha fractura a la vez que se mantiene el flujo de fluido a través de la fibra.

25

30

35

40

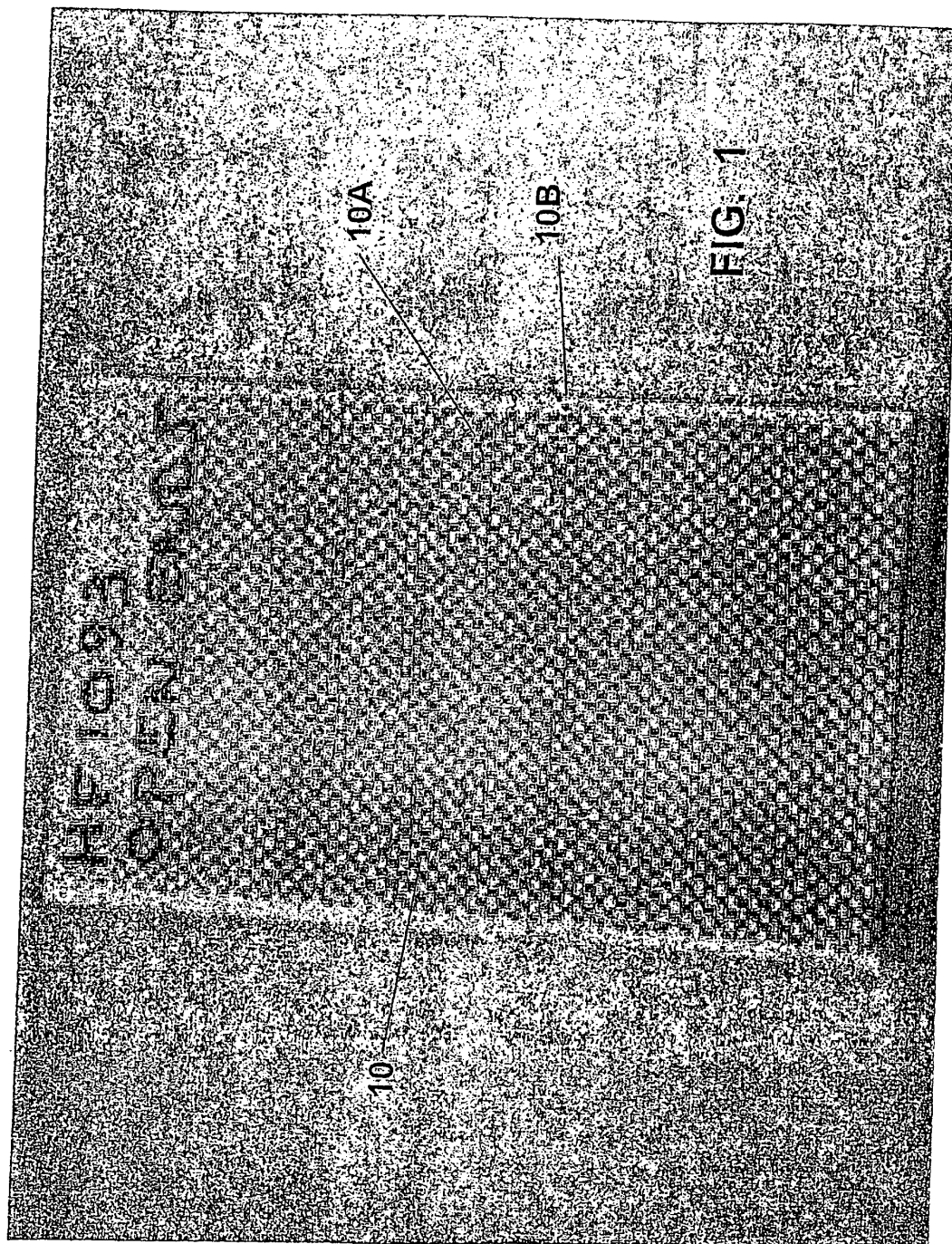
45

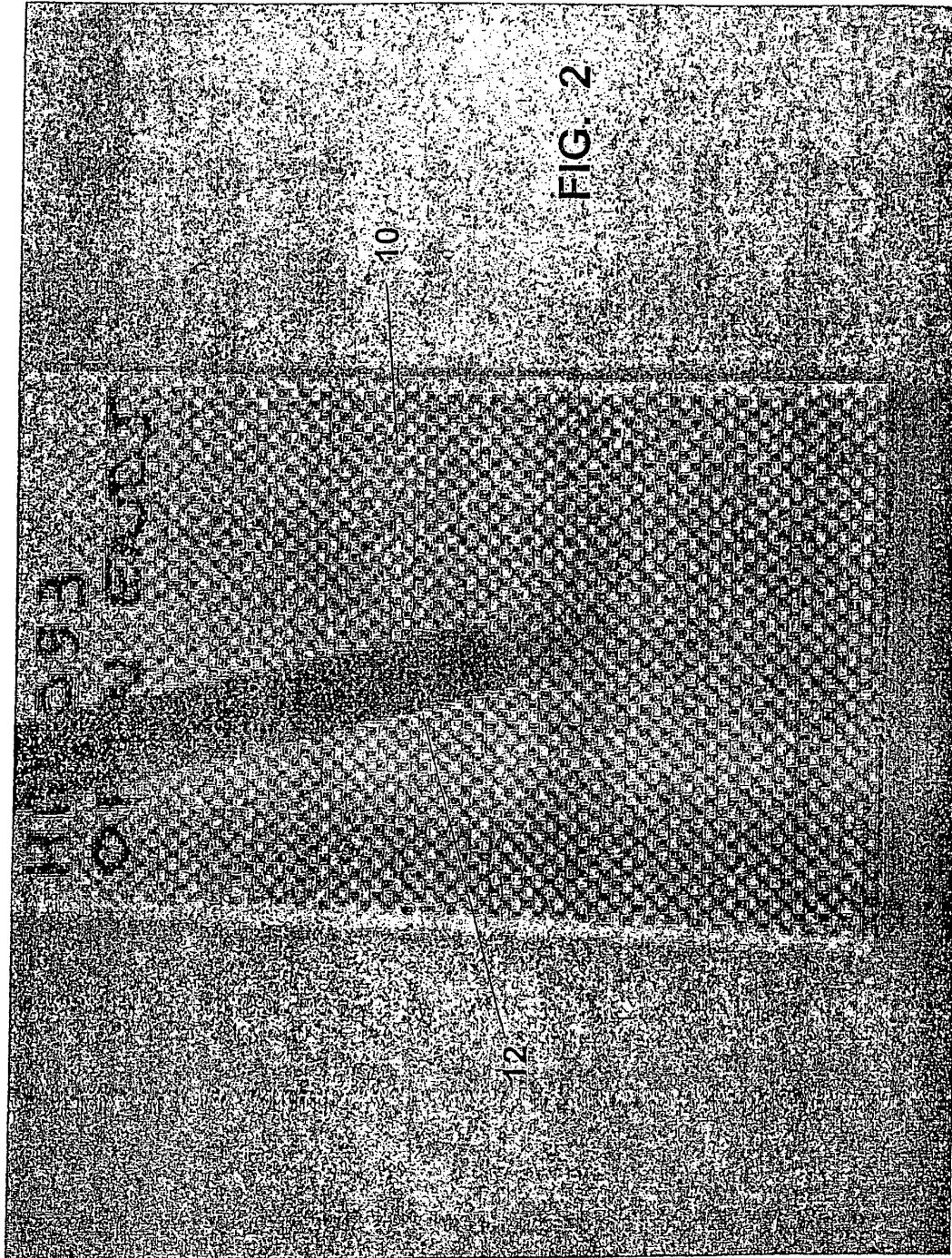
50

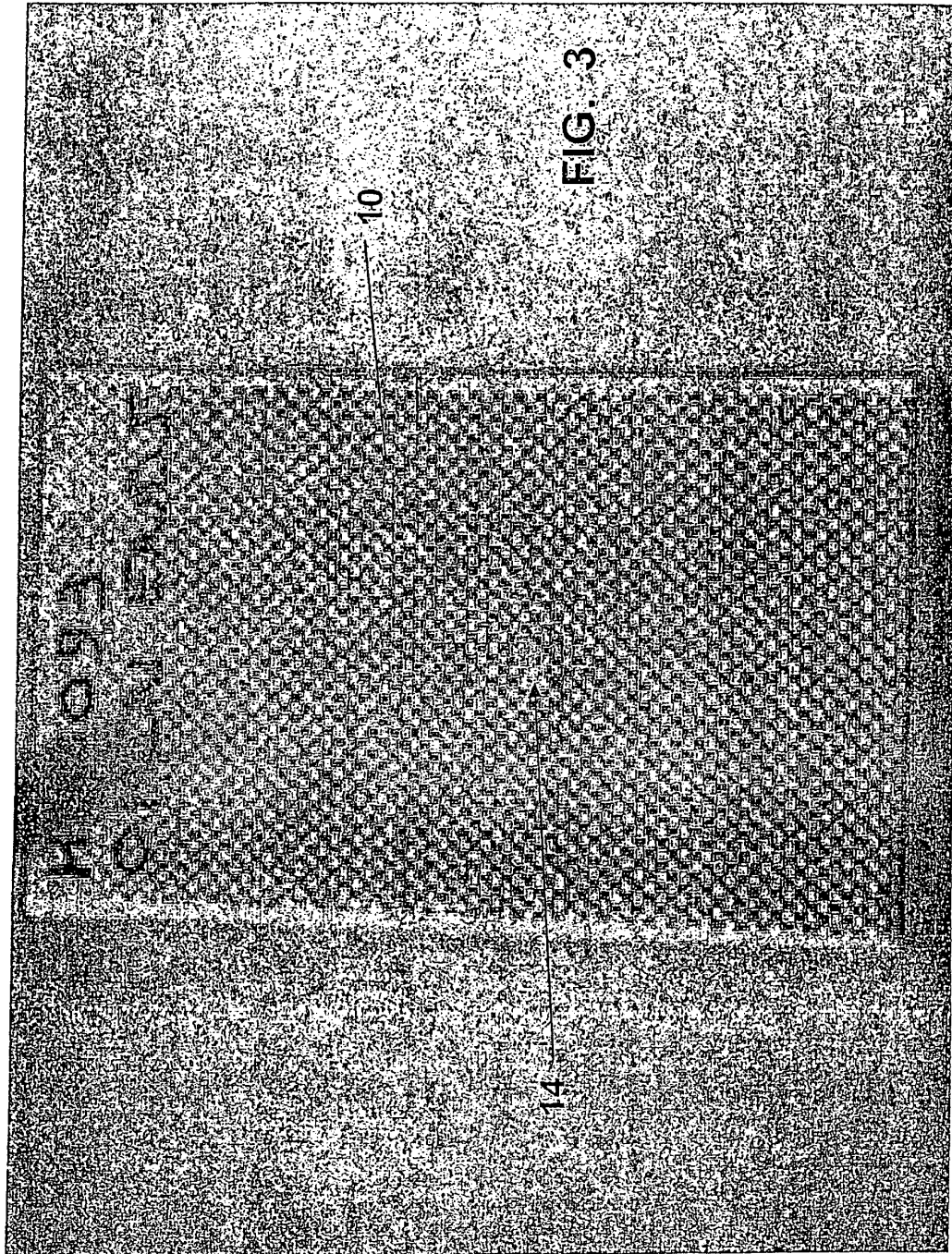
55

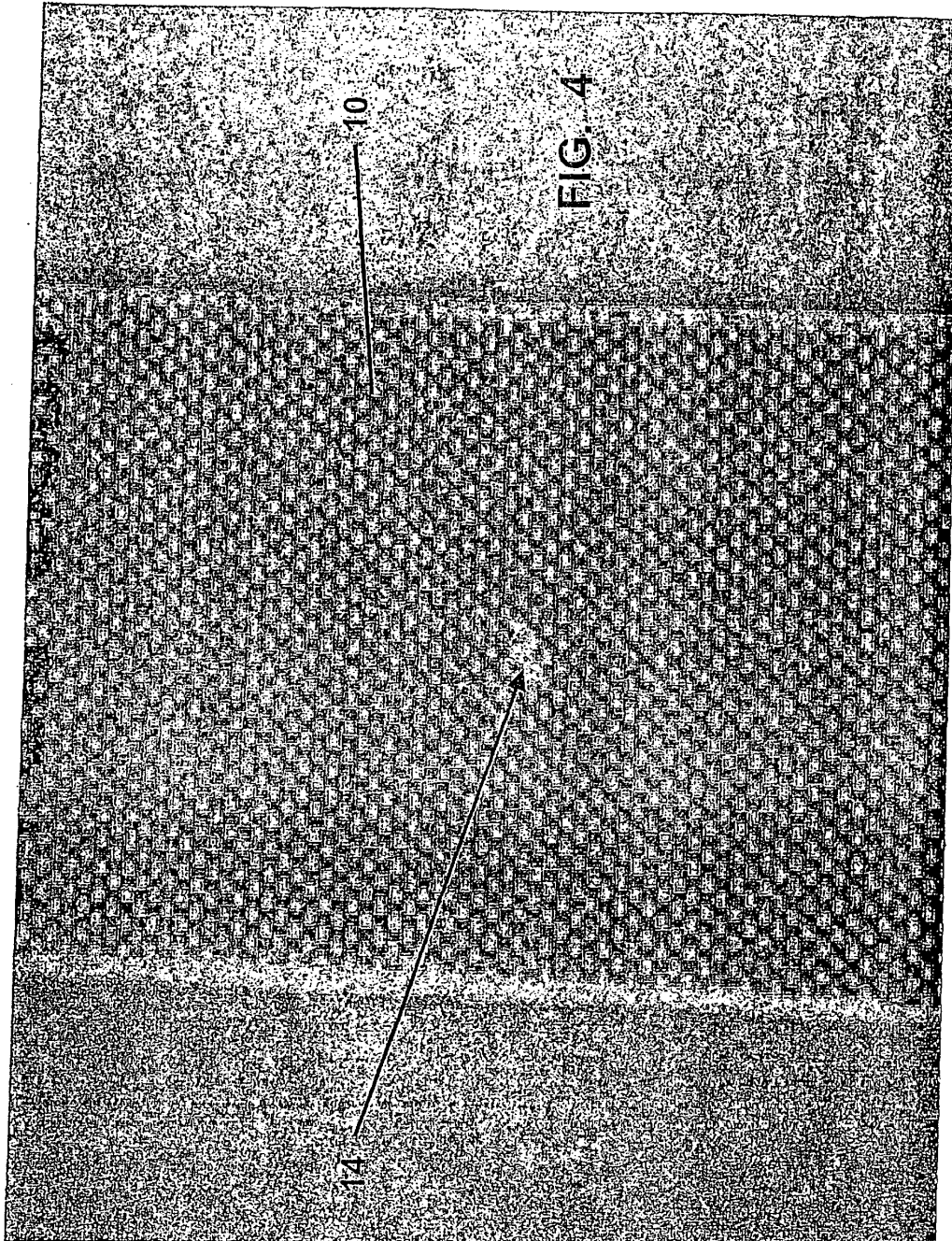
60

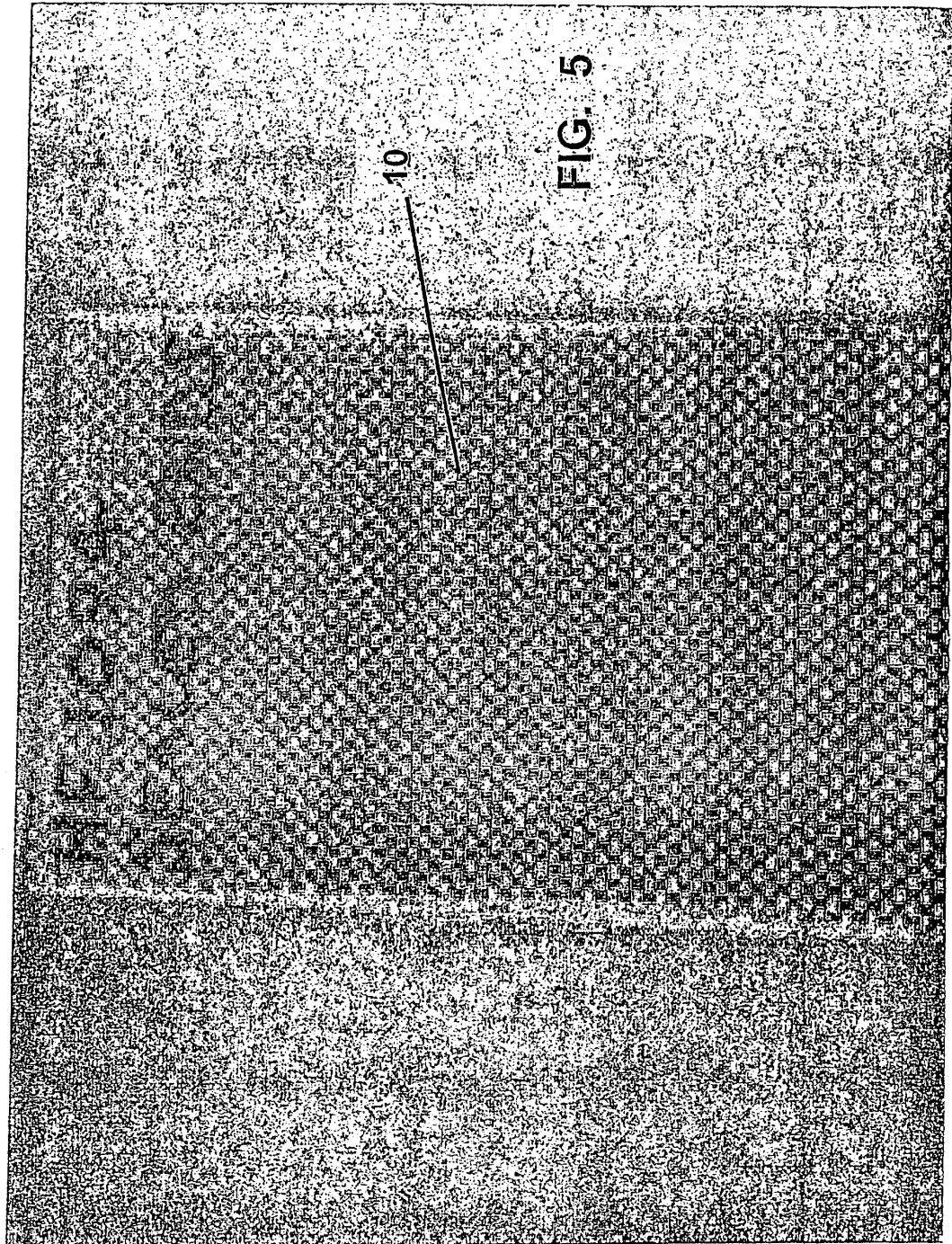
65

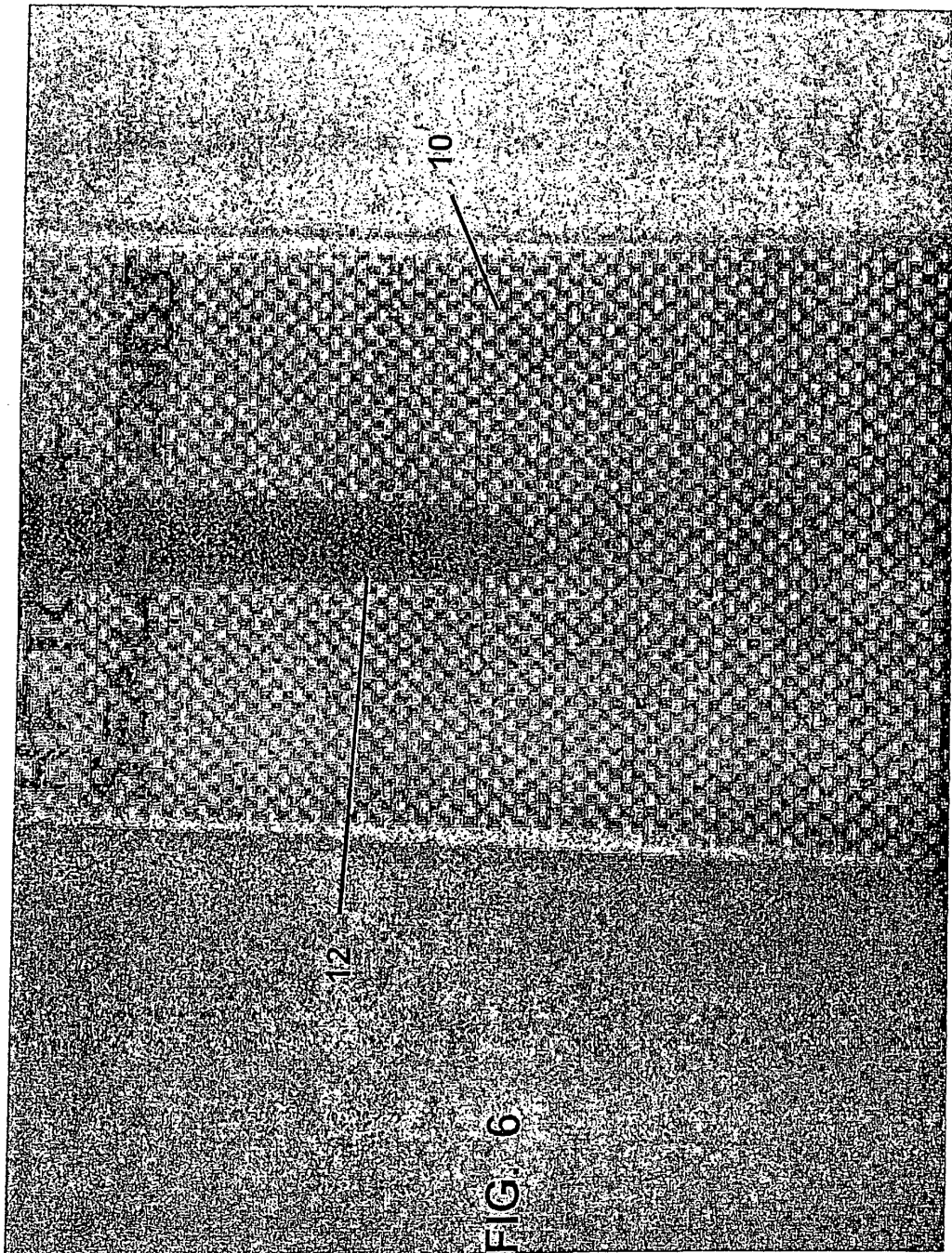


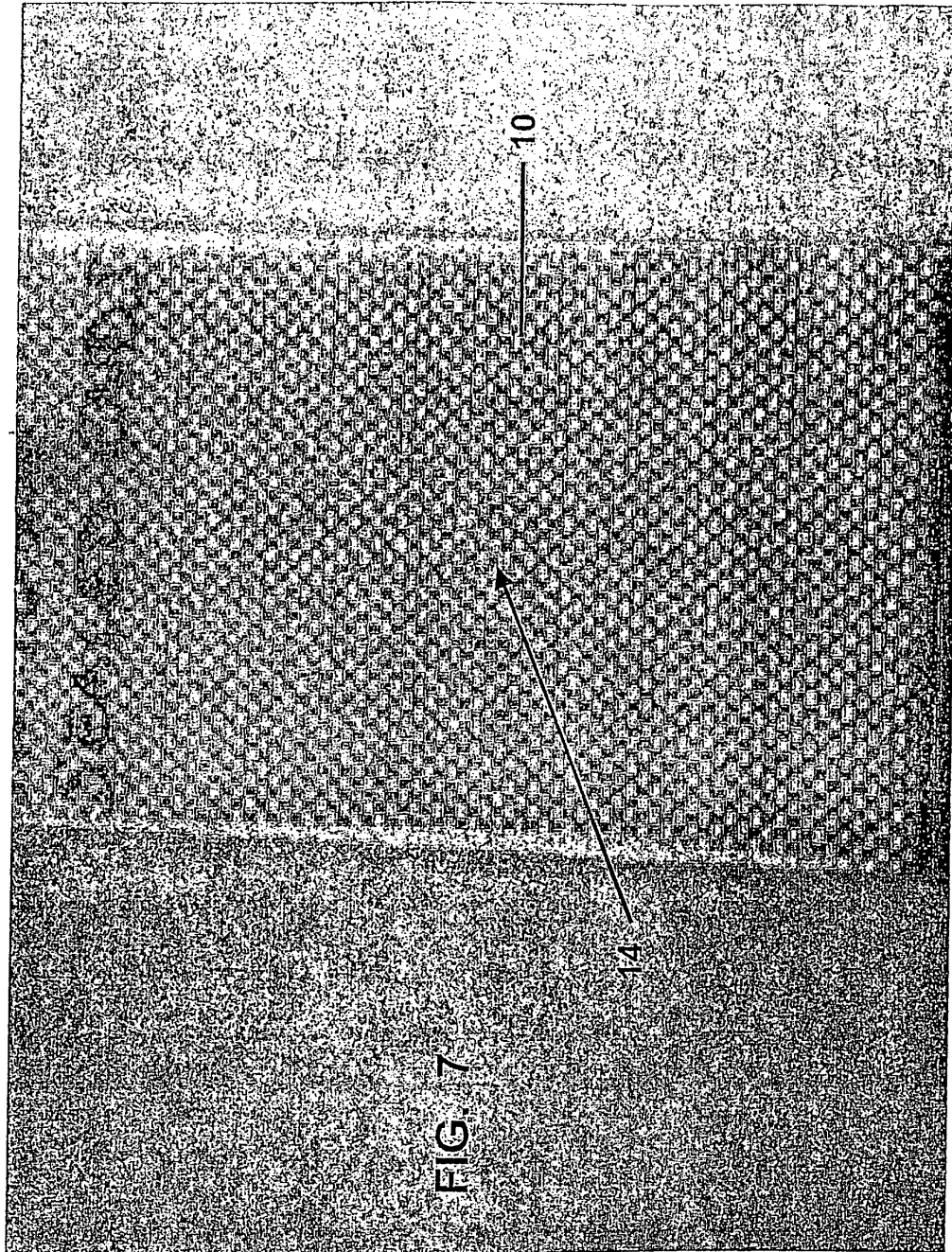


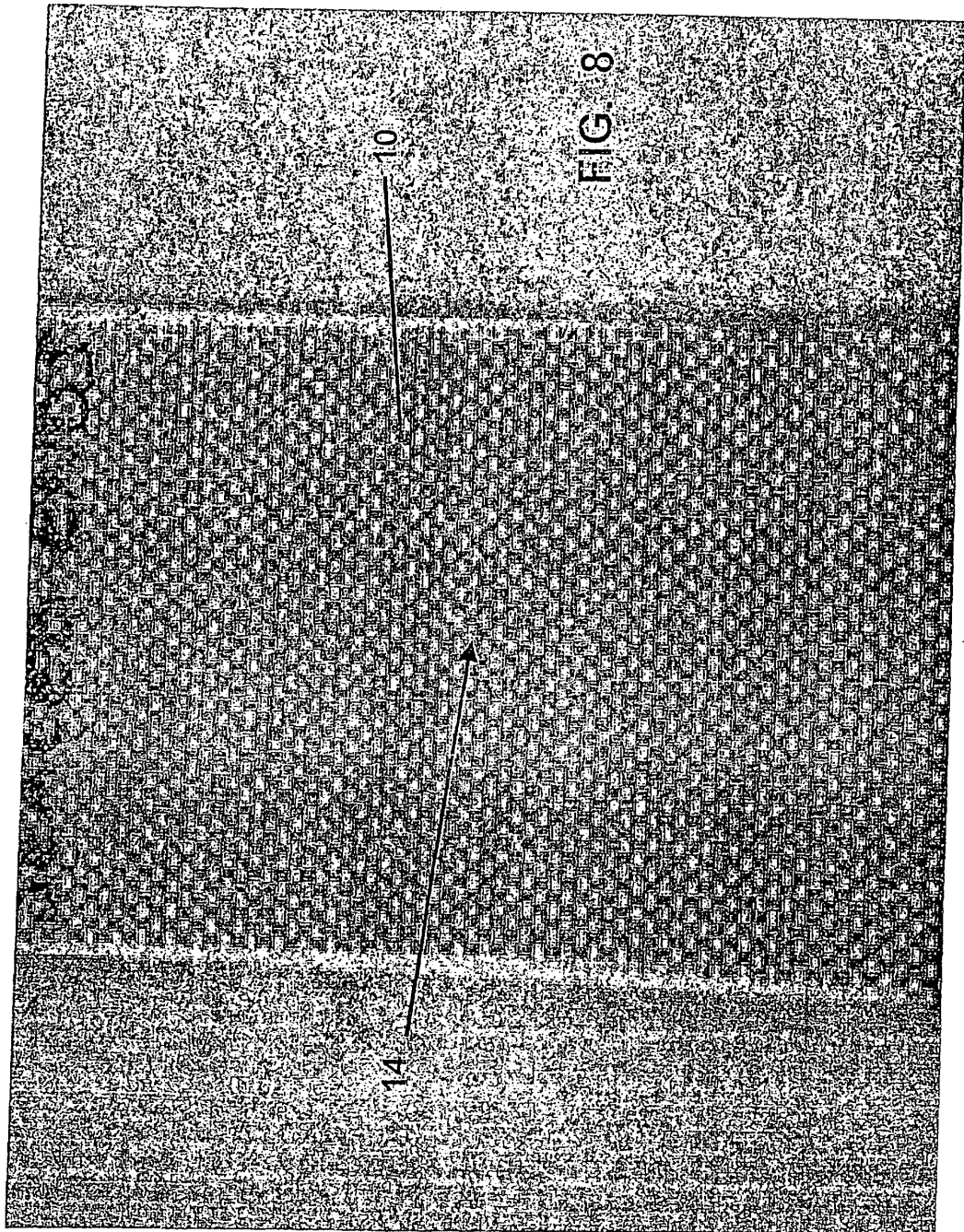


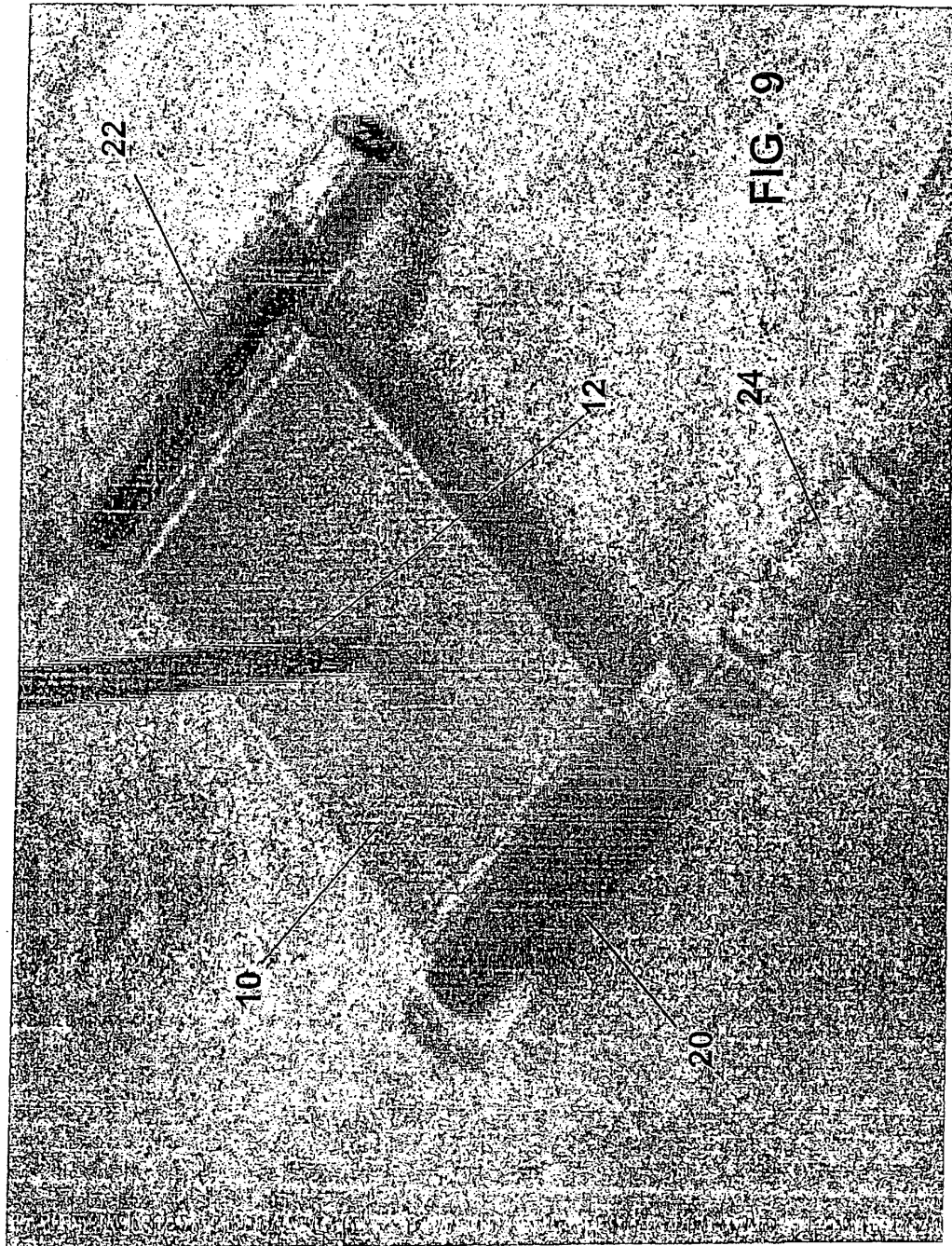


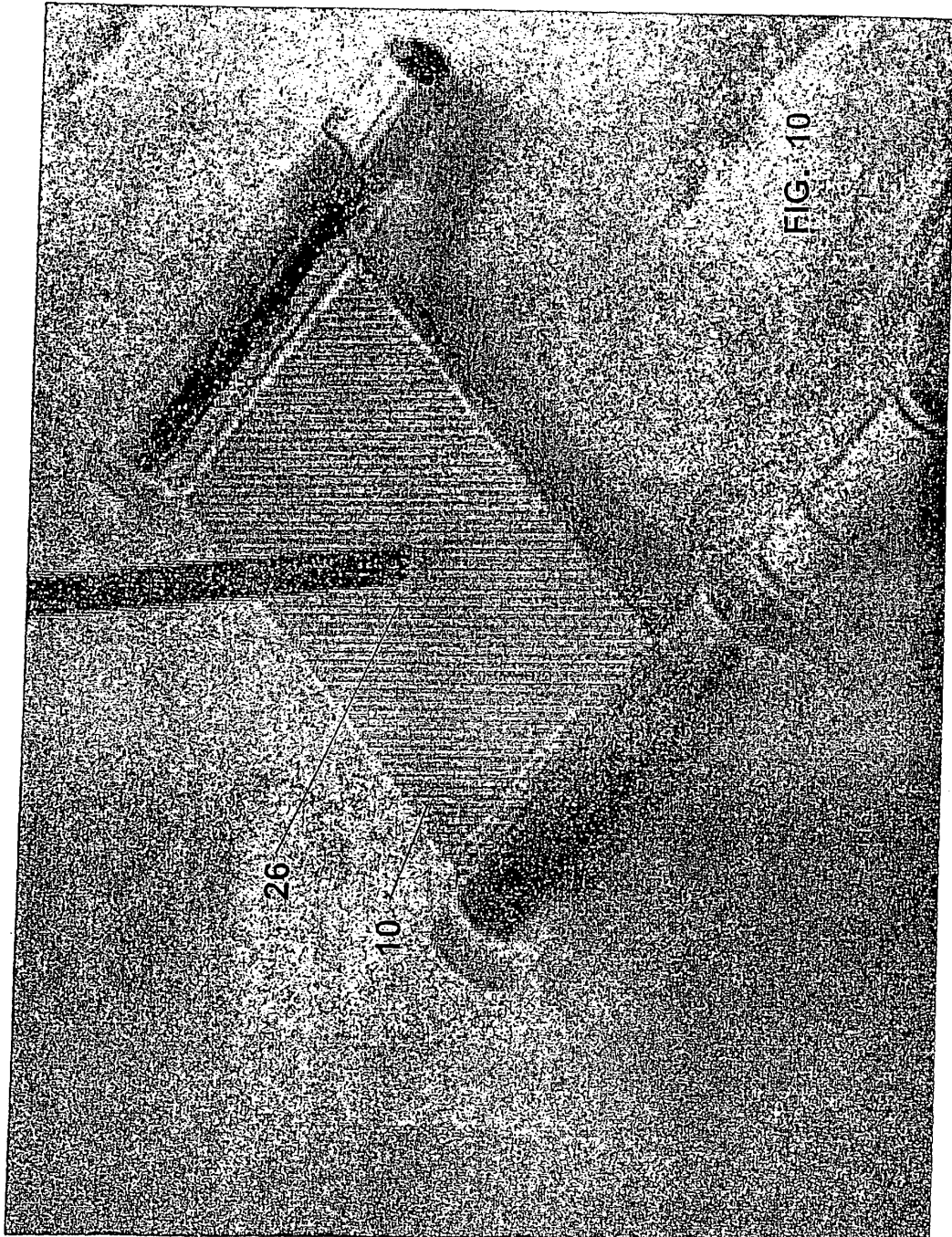


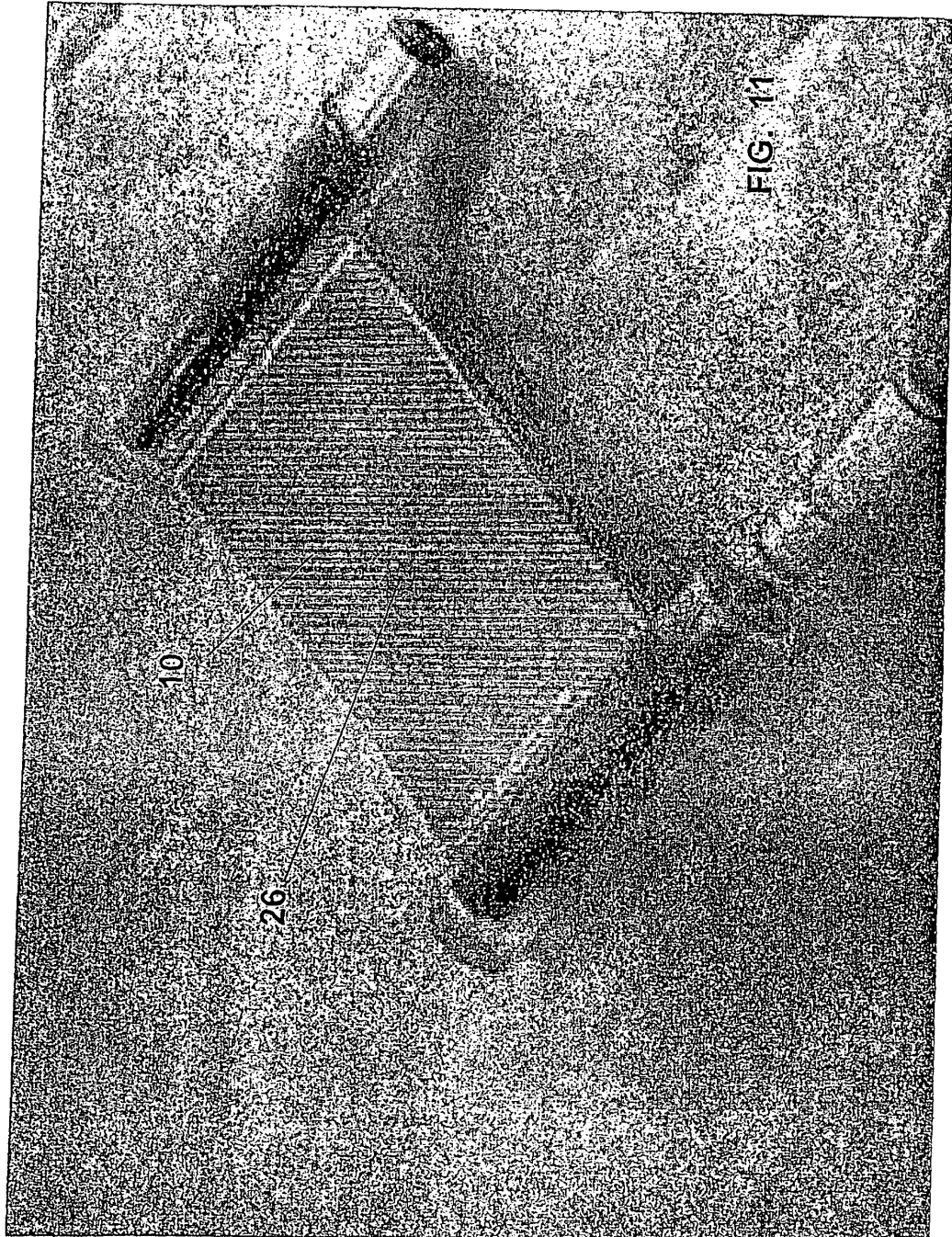


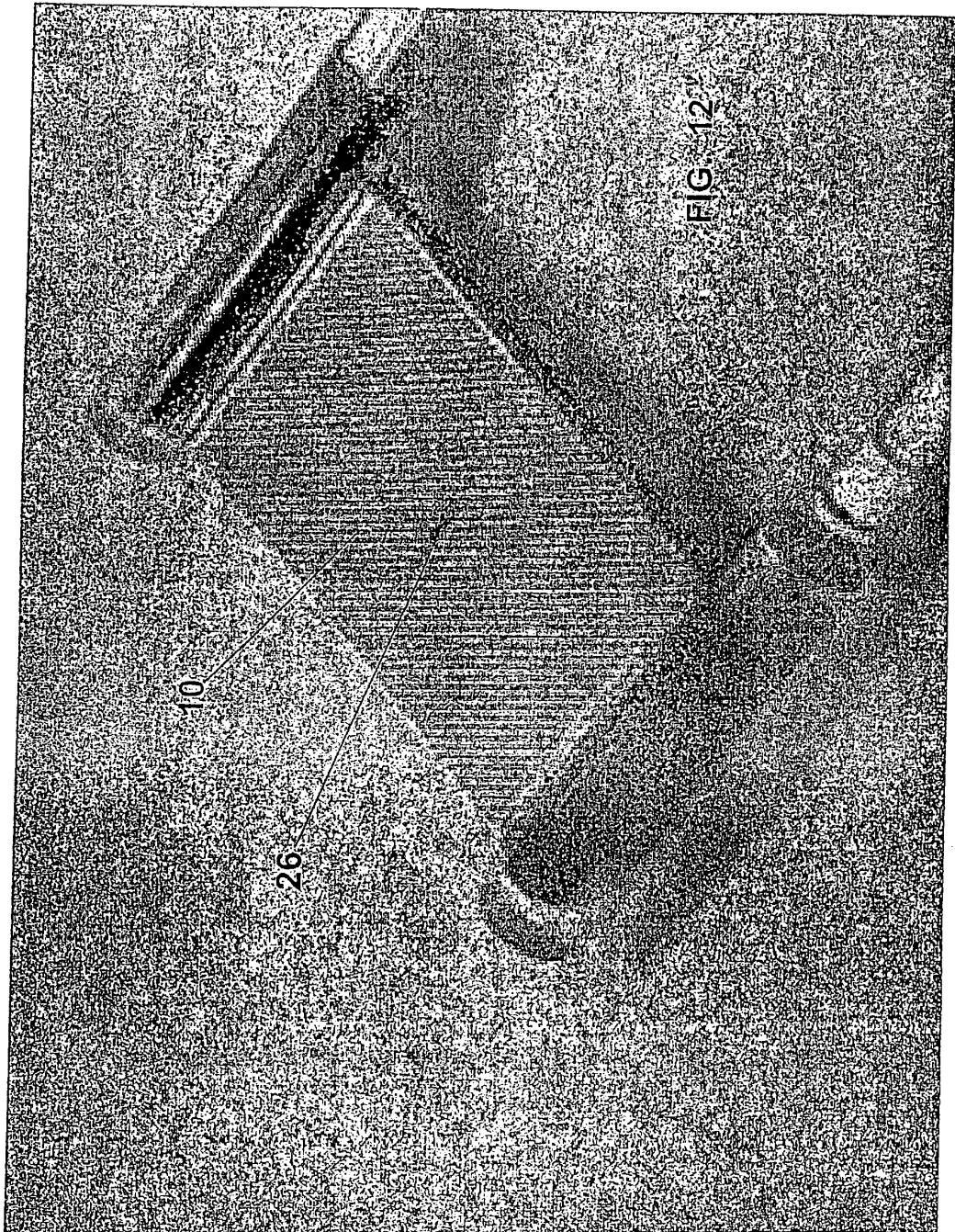


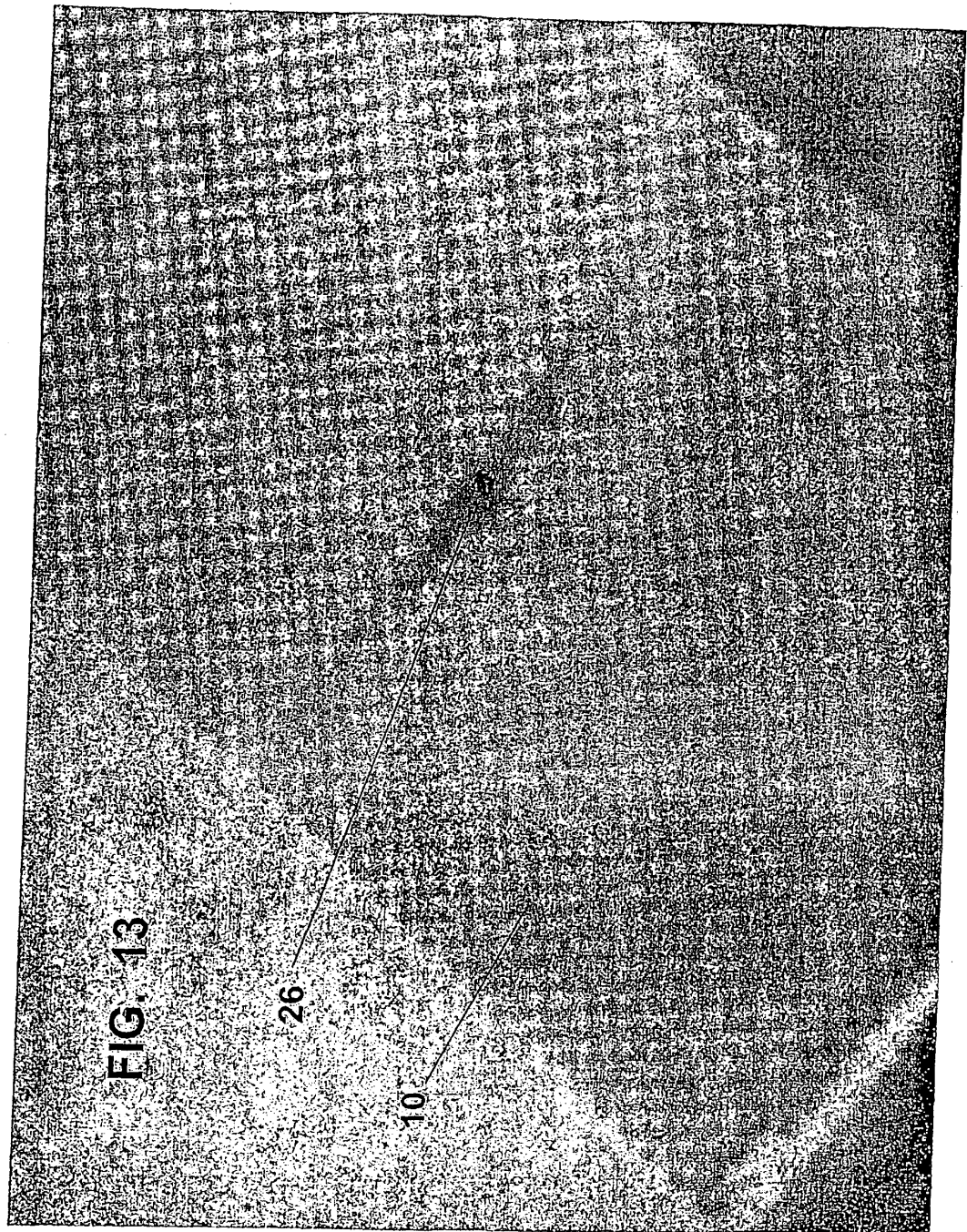












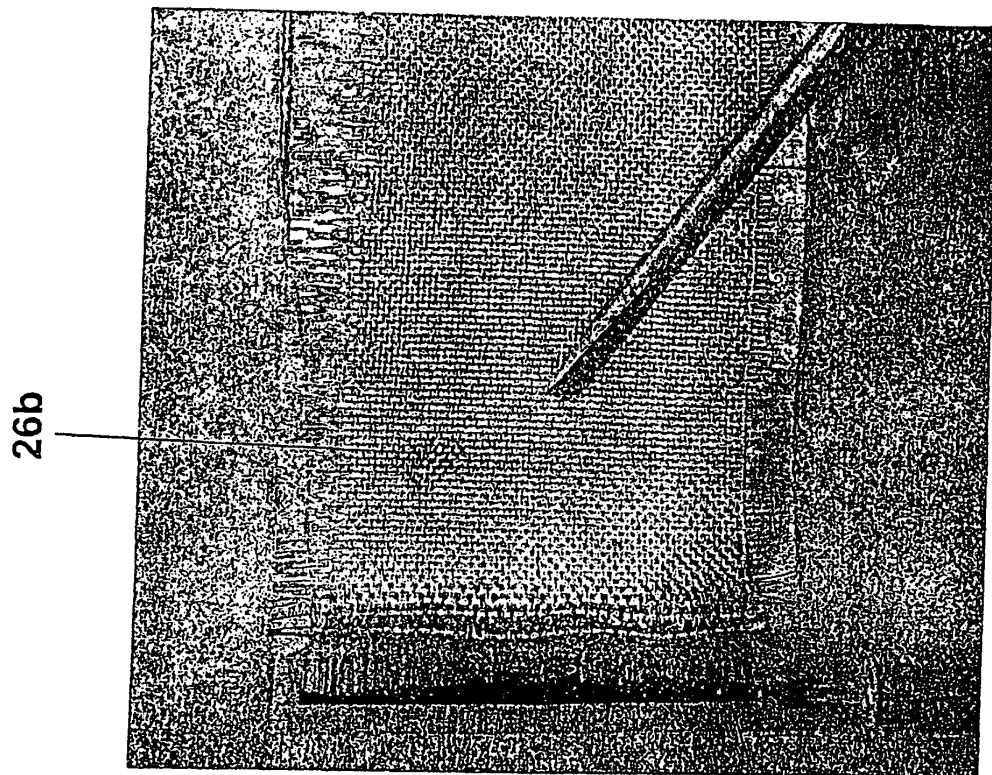
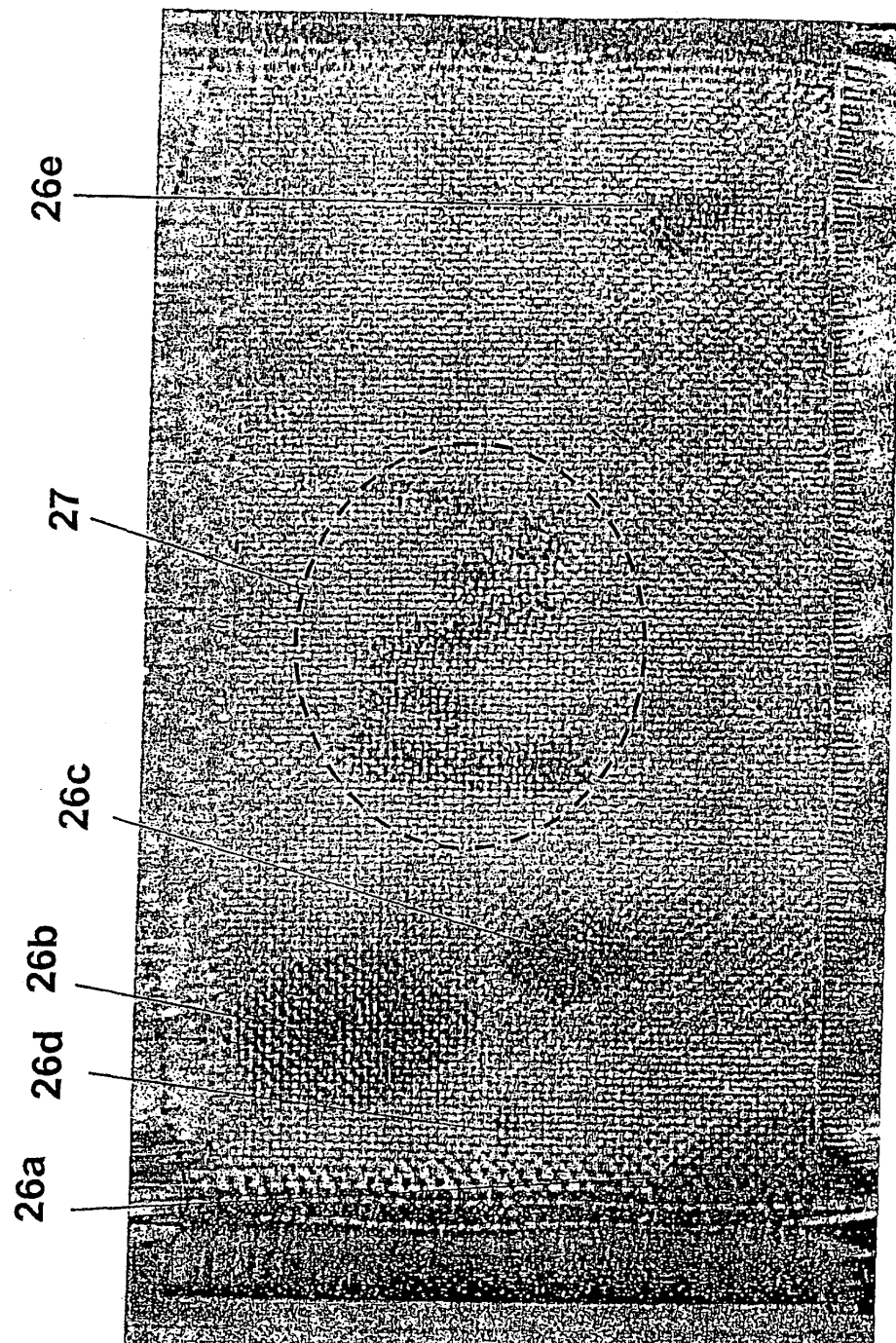
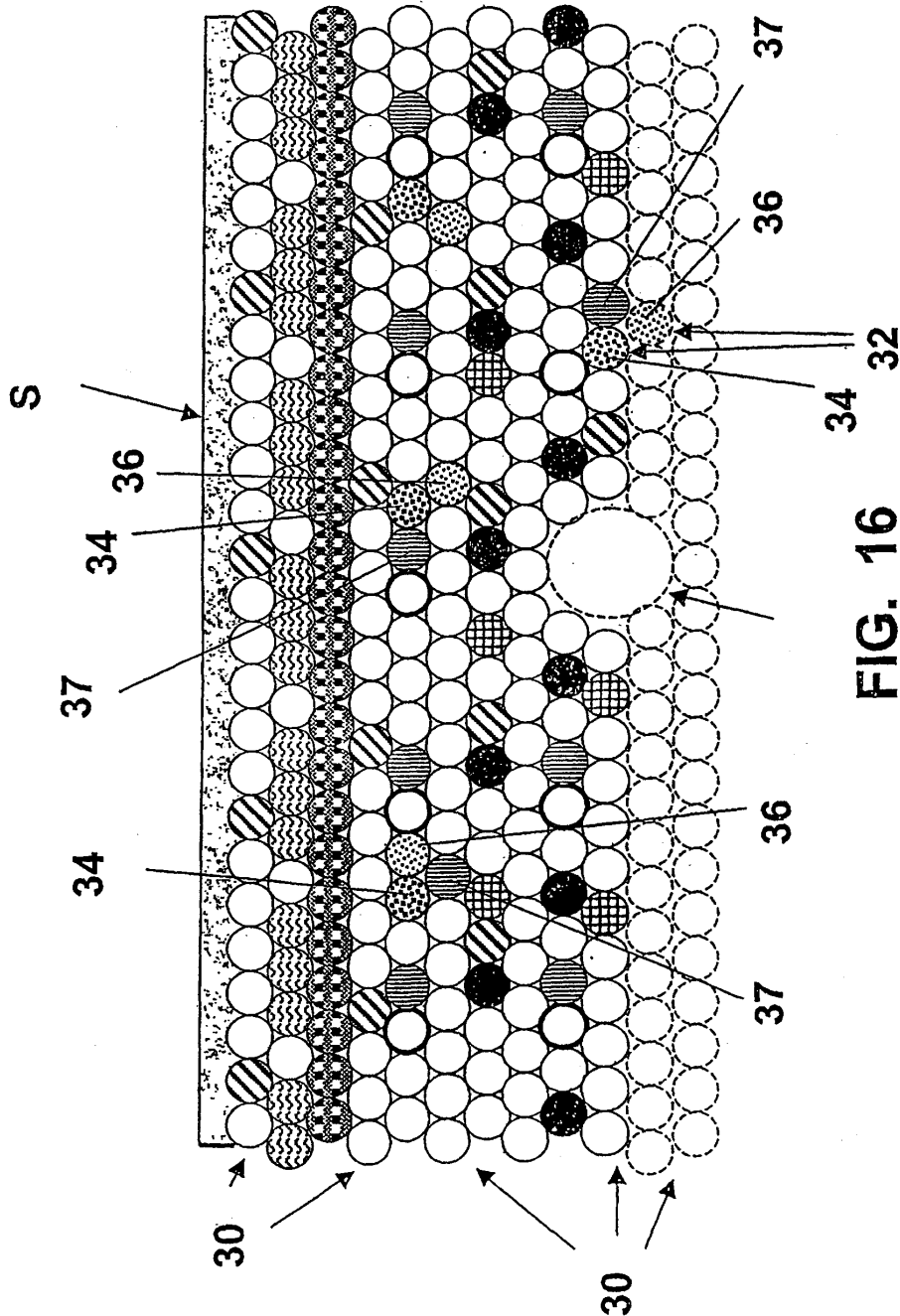


FIG. 14

FIG. 15





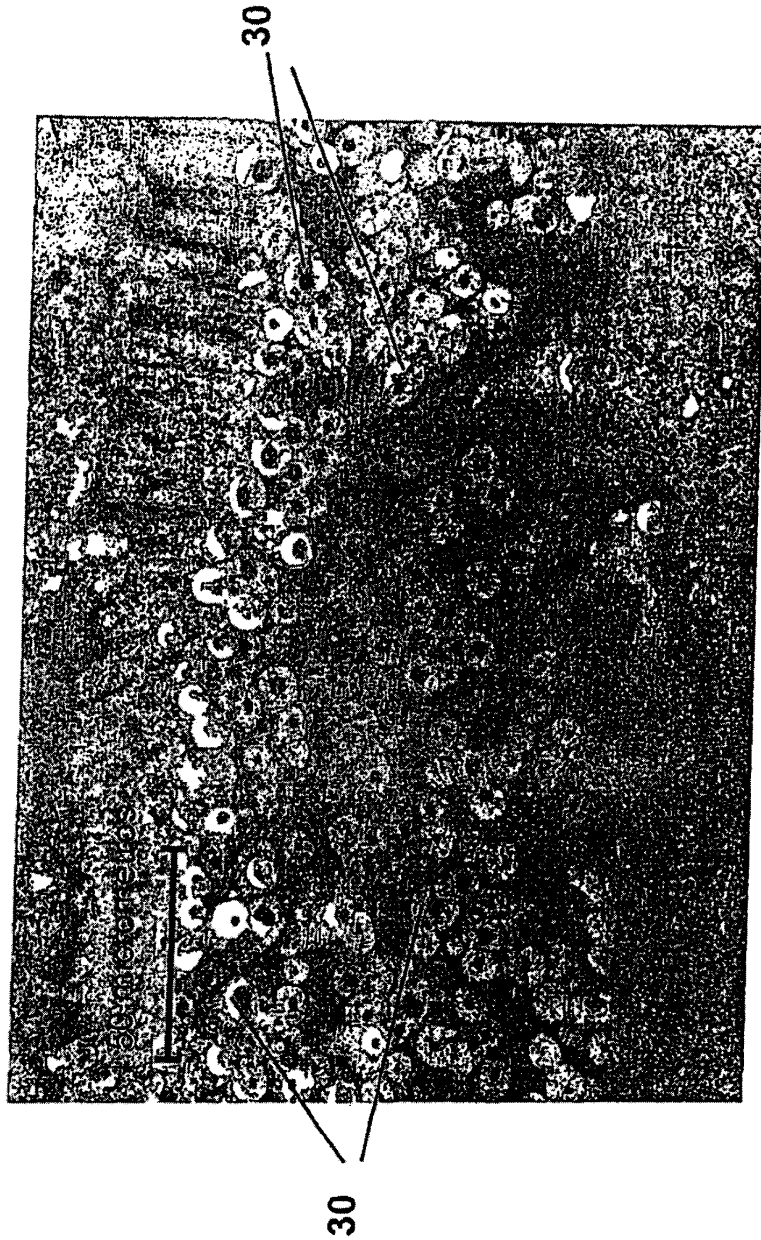
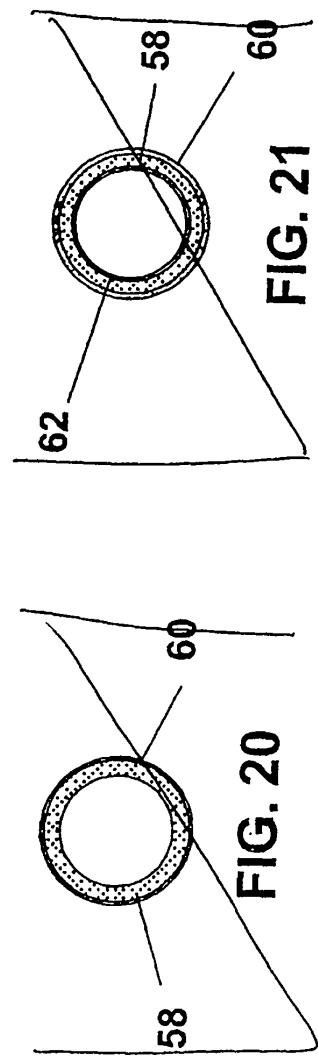
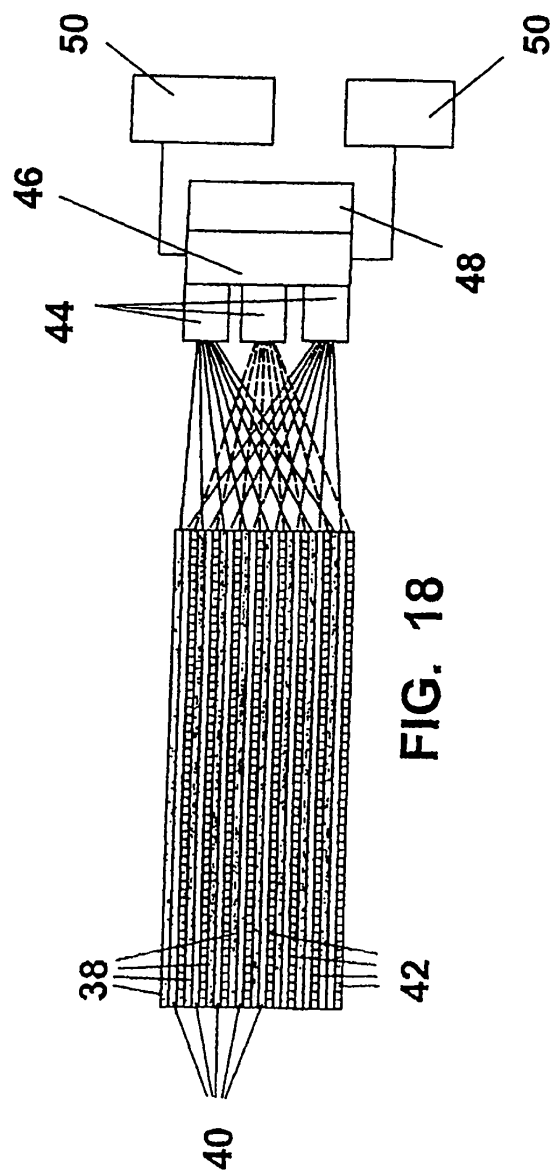


FIG. 17



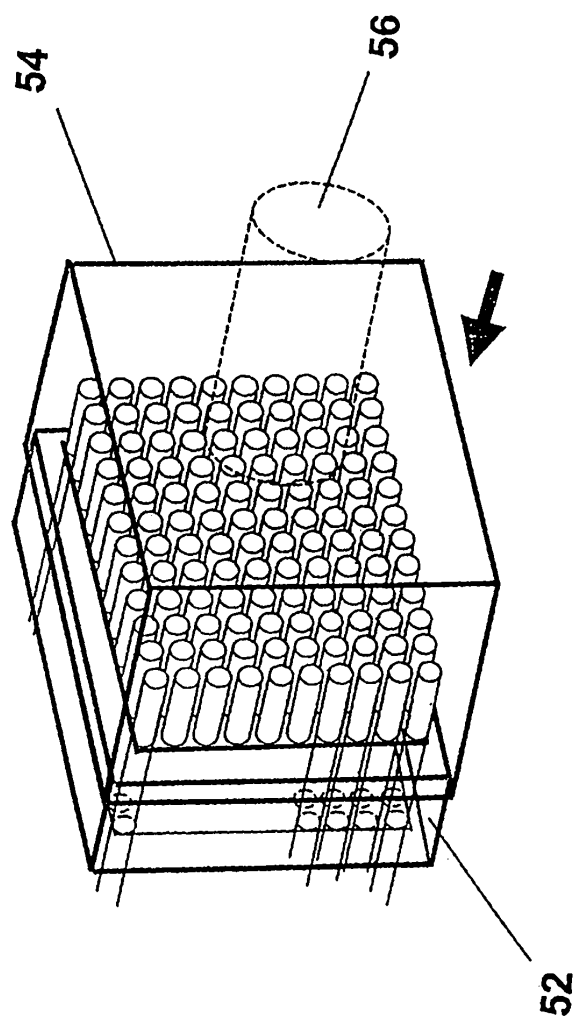


FIG. 19