

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 984 988**

51 Int. Cl.:

B29C 73/02 (2006.01)

B29D 99/00 (2010.01)

F03D 1/06 (2006.01)

F03D 80/50 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **08.11.2021** **E 21206905 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **15.05.2024** **EP 4177045**

54 Título: **Método para reparar una pala de turbina eólica y pala de turbina eólica respectivamente reparada**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
31.10.2024

73 Titular/es:

SIEMENS GAMESA RENEWABLE ENERGY A/S
(100.0%)
Borupvej 16
7330 Brande, DK

72 Inventor/es:

STECHER, HARALD;
JENSEN, JONAS PAGH y
MAENNCHEN, JAKOB

74 Agente/Representante:

DEL VALLE VALIENTE, Sonia

ES 2 984 988 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

Método para reparar una pala de turbina eólica y pala de turbina eólica respectivamente reparada

5 **Campo de la invención**

La presente invención se refiere al campo de las palas de turbina eólica, en particular, a un método para reparar una pala de turbina eólica y a una pala de turbina eólica respectivamente reparada.

10 **Antecedentes de la técnica**

La energía eólica se considera una de las fuentes de energía más limpias y respetuosas con el medio ambiente disponibles en la actualidad, y las turbinas eólicas son cada vez más populares para utilizar esta fuente de energía. Una turbina eólica moderna normalmente incluye una torre, un generador, una caja de engranajes, una góndola y una o más palas de rotor. Las palas del rotor capturan la energía cinética del viento y transmiten la energía cinética en forma de energía de rotación para hacer girar un eje que acopla las palas del rotor a una caja de engranajes o directamente al generador. El generador convierte entonces la energía mecánica en energía eléctrica que puede ser suministrada a la red eléctrica.

En funcionamiento, las palas de turbina eólica suelen sufrir de forma típica una exposición continua a las influencias del entorno, tal como el impacto de partículas suspendidas en el aire y el agua de lluvia a alta velocidad, lo que puede provocar daños en las palas de la turbina eólica. Además, los cambios repetidos de temperatura y humedad pueden provocar daños, tales como grietas, en las palas de turbina eólica. Las pequeñas reparaciones de las palas en funcionamiento requieren ciertas condiciones externas para llevarse a cabo correctamente. Los materiales de reparación estándar para las palas basada en epoxi también son sistemas de epoxi-amina. La temperatura de uso mínima de los materiales de reparación suele ser hasta 15 °C, pero no inferior. Esto limita el tiempo disponible para los trabajos de reparación in situ y puede conllevar un tiempo de inactividad prolongado, lo que supone un coste enorme para el operador de la turbina.

Por lo tanto, con frecuencia solo se dispone de un breve período de tiempo para la reparación. Si la temperatura está solo ligeramente por debajo de la temperatura mínima requerida, puede utilizarse una carpa calefactora para elevar en cierta medida la temperatura del laminado y el entorno, lo que, sin embargo, genera costes y esfuerzos adicionales. Si la temperatura o la humedad está claramente por debajo (o por encima) de las condiciones de proceso, no puede realizarse la reparación.

Por lo tanto, puede ser necesario un proceso de reparación de palas de turbina eólica con un equipo reducido requerido y que pueda aplicarse independientemente de las condiciones exteriores, tales como la temperatura y la humedad.

El documento US 2011/097211 A1 describe un método para reparar una pala de turbina eólica que comprende calentar una parte de la superficie de la pala de turbina eólica.

Resumen de la invención

Esta necesidad puede ser satisfecha por el objeto según las reivindicaciones independientes. Las realizaciones ventajosas de la presente invención se describen en las reivindicaciones dependientes.

Según un aspecto de la invención, se proporciona un método para reparar (in situ) una pala de turbina eólica que comprende una resina que contiene un grupo funcional escindible (en particular, un grupo funcional escindible con ácido), comprendiendo el método aplicar un líquido acuoso ácido (con un pH inferior a 7) que comprende un ácido en una parte (a reparar, p. ej., un área dañada) de una superficie de la pala de turbina eólica, calentar la parte de la superficie de la pala de turbina eólica (donde se ha aplicado el líquido acuoso ácido), aplicar un líquido acuoso básico (alcalino) (con un pH de más de 7) que comprende una base (compuesto alcalino) en la parte de la superficie de la pala de turbina eólica (donde se ha aplicado el líquido acuoso ácido), opcionalmente (en particular, en caso de grietas grandes), aplicar un adhesivo termofusible (reactivo) que comprende un isocianato o un isocianato bloqueado en la parte de la superficie de la pala de turbina eólica (donde se han aplicado el líquido acuoso ácido y el líquido acuoso básico), opcionalmente, secar esa parte de la superficie de la pala de turbina eólica.

Según un aspecto adicional de la invención, se proporciona una pala de turbina eólica (reparada) que puede obtenerse (u obtenida) mediante un método como el descrito en la presente memoria.

Estos aspectos de la invención se basan en la idea de que las grietas en una superficie de una pala de turbina eólica que comprende una resina que contiene un grupo funcional escindible (en particular, un grupo funcional escindible con ácido) pueden repararse aplicando un líquido acuoso ácido en la parte de superficie a reparar, calentando a continuación la parte de superficie en donde se ha aplicado el líquido acuoso ácido. Sin pretender imponer ninguna teoría, los presentes inventores asumen que al calentar una superficie tratada con ácido pueden escindirse los grupos funcionales escindibles de la resina en una capa más exterior de la pala de turbina eólica, generando de este modo,

por ejemplo, grupos hidroxilo libres en la resina. Además, de este modo, al menos parte de la resina en una capa más exterior de la pala de turbina eólica puede disolverse en el líquido acuoso ácido y/o una estructura termoestable en una capa más exterior de la pala de turbina eólica puede convertirse, al menos parcialmente, en un material termoplástico. Como resultado de estos cambios, es posible cerrar o sellar grietas pequeñas aplicando calor, en particular, debido al flujo o entrada de resina disuelta en las grietas y/o a las propiedades o al comportamiento termoplásticos desarrollados de la resina. Posteriormente, se aplica un líquido acuoso básico para neutralizar el líquido acuoso ácido aplicado. Además, cualquier resina disuelta puede precipitarse de nuevo (mientras sigue siendo termoplástica), lo que promueve aún más el sellado de las grietas. En el caso de grietas más grandes, puede aplicarse un adhesivo termofusible (reactivo) que comprenda grupos funcionales isocianato (opcionalmente, bloqueados), de forma que puedan formarse enlaces covalentes entre el grupo funcional isocianato (desbloqueado) del adhesivo termofusible y los grupos hidroxilo de la resina (que pueden generarse como resultado de la escisión descrita anteriormente), es decir, el termoplástico puede volver a reticularse para mejorar aún más las propiedades mecánicas. Como resultado de ello, la pala de la turbina eólica puede repararse de forma eficiente in situ con un equipo requerido reducido e independientemente de las condiciones exteriores, tal como temperatura y humedad.

Descripción detallada

A continuación, en la memoria, se describirán los detalles de la presente invención y otras características y ventajas de la misma. Sin embargo, la presente invención no se limita a las siguientes descripciones específicas, sino que más bien tienen fines ilustrativos únicamente.

Debe observarse que las características descritas en relación con una realización ilustrativa o un aspecto ilustrativo pueden combinarse con cualquier otra realización ilustrativa o aspecto ilustrativo, en particular, las características descritas con cualquier realización ilustrativa de un método de reparación pueden combinarse con cualquier otra realización ilustrativa de un método de reparación y con cualquier realización ilustrativa de una pala de turbina eólica, y viceversa, salvo que se indique lo contrario de forma específica.

Cuando se usa un artículo indefinido o definido para hacer referencia a un término singular, tal como “un”, “una” o “el/la”, también se incluye el plural de ese término, y viceversa, salvo que se indique lo contrario de forma específica.

La expresión “que comprende”, tal como se usa en la presente descripción, incluye no solo el significado de “que comprende”, “que incluye” o “que contiene”, sino que también puede abarcar “que consiste esencialmente en” y “que consiste en”.

Salvo que se indique lo contrario de forma específica, la expresión “al menos parcialmente”, “al menos un parcial” o “al menos (una) parte de”, tal como se usa en la presente memoria, puede significar al menos 5 %, en particular, al menos 10 %, en particular, al menos 15 %, en particular, al menos 20 %, en particular, al menos el 25 %, en particular, al menos el 30 %, en particular, al menos 35 %, en particular, al menos 40 %, en particular, al menos 45 %, en particular, al menos 50 %, en particular, al menos 55 %, en particular, al menos 60 %, en particular, al menos 65 %, en particular, al menos 70 %, en particular, al menos 75 %, en particular, al menos 80 %, en particular, al menos 85 %, en particular, al menos 90 %, en particular, al menos 95 %, en particular, al menos 98 %, y también puede significar 100 %.

En un primer aspecto, un método de reparación (in situ) de una pala de turbina eólica que comprende una resina que contiene un grupo funcional escindible (en particular, un grupo funcional escindible con ácido) comprende aplicar un líquido acuoso ácido (que tiene un pH inferior a 7) que comprende un ácido en una parte (a reparar) de una superficie de la pala de turbina eólica, calentar la parte de la superficie de la pala de turbina eólica (donde se ha aplicado el líquido acuoso ácido), aplicar un líquido acuoso básico (alcalino) (que tiene un pH de más de 7), que comprende una base (compuesto alcalino) en la parte de la superficie de la pala de turbina eólica (donde se ha aplicado el líquido acuoso ácido).

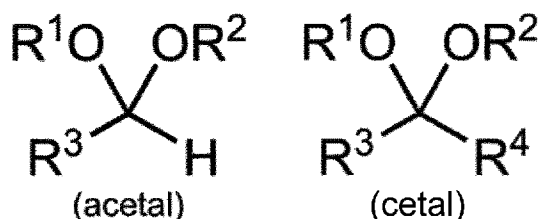
El método de reparación puede llevarse a cabo in situ, es decir, mientras la pala de turbina eólica está instalada en una turbina eólica, lo que tiene la gran ventaja de reducir al mínimo el tiempo de inactividad de la turbina eólica. Sin embargo, el método de reparación también puede ser adecuado para reparar grietas u otros defectos que se produjeron durante la fabricación, el almacenamiento y/o el transporte de la pala de turbina eólica. Por lo tanto, el método de reparación también puede llevarse a cabo antes de que la pala de turbina eólica se instale en una turbina eólica. Además, el método de reparación también puede ser adecuado para reparar una pala de turbina eólica después de desinstalarla de una turbina eólica, por ejemplo, si la pala de turbina eólica está destinada a reutilizarse (reciclarse) en otra (o la misma) turbina eólica.

La pala de turbina eólica a reparar mediante el método descrito en la presente memoria comprende una resina que contiene un grupo funcional escindible. En particular, la pala de turbina eólica puede comprender un material o sustrato (base) que comprende un compuesto de resina polimérica reforzada con fibra (de vidrio) que comprende una resina que contiene un grupo funcional escindible.

En una realización, la resina comprende al menos uno de una resina basada en epoxi y una resina basada en epoxiamina. Ejemplos disponibles comercialmente de las mismas se basan en la tecnología Recyclamine® (de Aditya Birla Chemicals) o Cleavamine® (de Adesso Advanced Materials), por ejemplo.

En el contexto de la presente solicitud, la expresión “grupo funcional escindible” puede indicar especialmente un grupo funcional que tiene un enlace covalente que puede escindirse en ciertas condiciones (p. ej., temperatura, valor de pH, reactivo). Por ejemplo, el grupo funcional escindible puede ser, en particular, un grupo funcional escindible con ácido, es decir, un grupo funcional que tiene un enlace covalente que puede escindirse mediante un ácido o en condiciones ácidas (pH inferior a 7).

En una realización, el grupo funcional escindible comprende al menos uno de un grupo funcional acetal y un grupo funcional cetal. Un acetal o un cetal se representa generalmente mediante las siguientes fórmulas químicas:



en donde R¹, R², R³ y R⁴, independientemente entre sí, representan una parte orgánica (que contiene átomos de carbono). Como sabe un experto en la técnica, un acetal o un cetal puede escindirse mediante hidrólisis bajo condiciones ácidas para producir dos alcoholes (R¹-OH y R²-OH en las fórmulas generales anteriores) y un aldehído (R³-CHO en la fórmula general anterior de un acetal) o una cetona (R³-C(=O)-R⁴ en la fórmula general anterior de un cetal).

En una realización, el líquido acuoso ácido tiene un valor de pH inferior a 7, en particular, inferior a 6, en particular, inferior a 5, en particular, inferior a 4. Además, el líquido acuoso ácido puede tener un valor de pH de más de 0, en particular, de más de 1.

En una realización, el ácido es preferiblemente un ácido orgánico o un ácido carboxílico, en vez de un ácido mineral. Un ácido orgánico o un ácido carboxílico pueden ser especialmente adecuados no solamente para ajustar un pH adecuado, sino que también pueden actuar adicionalmente como disolvente para un producto de reacción de la resina después de la escisión del grupo funcional escindible. Además, puede ser ventajoso que el ácido orgánico o el ácido carboxílico tenga una buena miscibilidad con agua o una mezcla de agua/disolvente y también pueda disolver sustancias no polares.

En una realización, el ácido comprende un ácido monocarboxílico, un ácido dicarboxílico, un ácido tricarboxílico y/o un ácido policarboxílico, en particular, seleccionados del grupo que consiste en ácidos monocarboxílicos alifáticos, ácidos dicarboxílicos alifáticos, ácidos tricarboxílicos alifáticos y ácidos policarboxílicos alifáticos. Por ejemplo, el ácido puede seleccionarse del grupo que consiste en ácido acético, ácido láctico, ácido maleico, ácido fumárico, ácido tartárico, ácido oxálico, ácido malónico, ácido succínico, ácido adípico y ácido cítrico. También son adecuadas combinaciones de dos o más de estos ácidos.

En una realización, el ácido comprende al menos uno del grupo que consiste en ácido acético, ácido láctico, ácido cítrico, ácido oxálico, ácido tartárico o combinaciones de dos o más de los anteriores. En particular, el ácido puede comprender ácido acético (por ejemplo, en una concentración de un 30 % en masa del líquido acuoso ácido), que ha demostrado ser especialmente adecuada para los fines de la presente invención.

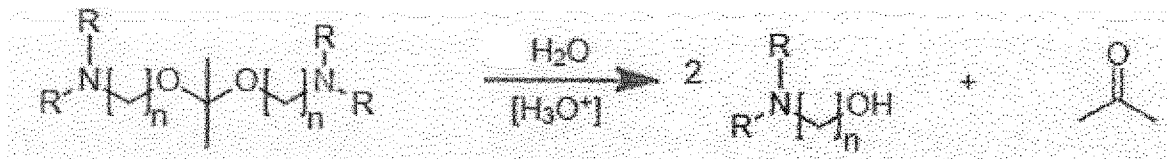
En una realización, el líquido acuoso ácido comprende además un disolvente, en particular, un disolvente polar, preferiblemente, un disolvente prótico polar. El término “disolvente polar”, como se utiliza en la presente memoria, se refiere a un disolvente que tiene una buena miscibilidad con agua. El término “disolvente prótico”, como se utiliza en la presente memoria, se refiere a un disolvente que es capaz de donar protones, por ejemplo, mediante enlaces de hidrógeno. Puede ser ventajoso que el líquido acuoso ácido comprenda un disolvente que sea capaz de migrar a una estructura termoestable de la resina e hincharla, preferiblemente, en combinación con la capacidad de formar enlaces de hidrógeno fuertes, escindiendo de este modo (o al menos debilitando) los enlaces de hidrógeno de la estructura termoestable. Ejemplos adecuados del disolvente incluyen etanol, propanol (1-propanol o 2-propanol), butanol, dimetilsulfóxido (DMSO) y combinaciones de dos o más de los mismos.

En una realización, el líquido acuoso ácido se inmoviliza sobre y/o en un vehículo y/o en forma de un hidrogel cuando se aplica. Por ejemplo, el líquido acuoso ácido puede empaparse en un vehículo, tal como un velo de fibra (tela no tejida) o una esponja. De forma adicional o alternativa, el líquido acuoso ácido puede inmovilizarse en forma de un hidrogel, tal como un hidrogel basado en quitosano. Tomando esta medida puede evitarse que el líquido acuoso ácido escurra o drene de la parte de la superficie de la pala de turbina eólica a reparar. Además, el líquido acuoso ácido

puede aplicarse de forma selectiva en la parte a reparar ajustando el vehículo o el hidrogel al tamaño del área dañada, evitando así que se vean afectadas las partes no dañadas de la superficie de la pala de turbina eólica.

Después de aplicar el líquido acuoso ácido en la parte a reparar de la superficie de la pala de turbina eólica, se lleva a cabo una etapa de calentamiento. Para ello, la parte en donde se ha aplicado el líquido acuoso ácido puede cubrirse con un dispositivo de calentamiento, tal como una manta térmica.

En una realización, el calentamiento de la parte de la superficie de la pala de turbina eólica se lleva a cabo de forma que se escindan al menos parte de los grupos funcionales escindibles de la resina en una capa más exterior de la pala de turbina eólica (formando de este modo grupos hidroxilo (libres) en la resina). Un ejemplo de escisión de un grupo funcional cetel de una resina basada en epoxiamina se ilustra mediante la siguiente reacción de escisión química:



Como resulta evidente a partir del esquema de reacción anterior, una resina basada en epoxiamina que tiene un grupo funcional cetel escindible se hidroliza en presencia de un ácido (catalizador), formando de este modo partes de resina escindidas que tienen un grupo hidroxilo (libre) y una cetona (más específicamente, acetona en el ejemplo representado). Los grupos hidroxilo generados pueden utilizarse para acoplarse con grupos funcionales isocianato de un adhesivo termofusible, como se describirá con más detalle a continuación.

En una realización, el calentamiento de la parte de la superficie de la pala de turbina eólica se lleva a cabo de modo que al menos parte de la resina en una capa más exterior de la pala de turbina eólica se disuelve (pasa a disolverse) en el líquido acuoso ácido, por ejemplo, debido a la protonación de un grupo amina en una resina basada en epoxiamina en el ejemplo ilustrado anteriormente. La resina en forma disuelta puede entrar o fluir en las grietas de la superficie dañada de la pala de turbina eólica y, posteriormente, puede precipitar en su interior (aplicando una solución básica, tal como se explica con más detalle a continuación), contribuyendo de este modo al sellado de las grietas.

En un ejemplo, el calentamiento de la parte de la superficie de la pala de turbina eólica se lleva a cabo de forma que una estructura termoestable en una capa más exterior de la pala de turbina eólica se convierte (al menos parcialmente) en un material termoplástico.

Debido a las propiedades termoplásticas desarrolladas, las pequeñas grietas pueden cerrarse o sellarse al calentarse.

En el contexto de la presente solicitud, el término “capa más exterior de la pala de turbina eólica” puede indicar especialmente una capa superficial (de la pala de turbina eólica) que tiene un espesor de hasta 1 mm, en particular, de hasta 0,5 mm.

En una realización, la parte de la superficie de la pala de turbina eólica se calienta a una temperatura en un intervalo de 70 °C a 100 °C, tal como de 80 °C a 90 °C, y/o durante un tiempo de calentamiento en un intervalo de 1 minuto a 1 h, tal como de 5 minutos a 45 minutos. Al tomar esta medida, la escisión de los grupos funcionales escindibles de la resina puede controlarse de manera que se escinda una cantidad suficiente de grupos funcionales escindibles de resina en una capa más exterior de la pala de turbina eólica, evitando al mismo tiempo la escisión en el material base de la pala de turbina eólica (es decir, debajo de la capa más exterior). Además, tomando esta medida, la escisión de los grupos funcionales escindibles de la resina puede controlarse de forma que se disuelva una cantidad suficiente de la resina en una capa más exterior de la pala de turbina eólica y/o de forma que una estructura termoestable en una capa más exterior de la pala de turbina eólica se transforme suficientemente en un material termoplástico.

Si el líquido acuoso ácido se aplica en forma inmovilizada, tal como por medio de un vehículo y/o como un hidrogel, los medios de inmovilización (p. ej., un vehículo y/o matriz de hidrogel) se retiran preferiblemente después de la etapa de calentamiento.

Después de que la parte a reparar de la superficie de la pala de turbina eólica se haya tratado con ácido y se haya calentado y, opcionalmente, se hayan eliminado unos medios de inmovilización de ácido aplicados, se aplica un líquido acuoso básico (alcalino) que comprende una base (compuesto alcalino) en esa parte de la superficie de la pala de turbina eólica.

En una realización, el líquido acuoso básico tiene un valor de pH de más de 7, en particular, más de 8, en particular, más de 9, en particular, más de 10. Además, el líquido acuoso básico puede tener un valor de pH inferior a 14, en particular, inferior a 13.

En una realización, el líquido acuoso básico se aplica de forma que se neutralice el líquido acuoso ácido aplicado. En particular, el pH en la parte a reparar de la superficie de la pala de turbina eólica puede elevarse, por ejemplo, hasta más de 5, en particular, hasta más de 6, tal como hasta un pH de 7 o más.

5 En una realización, el líquido acuoso básico se aplica de forma que la resinadisuelta precipite (aunque sigue siendo termoplástica). Como se ha explicado anteriormente, al menos parte de la resina en una capa más exterior de la pala de turbina eólica puede disolverse en el líquido acuoso ácido, por ejemplo, debido a la protonación de un grupo amina en una resina basada en epoxiamina, pudiendo entrar o fluir dicha resina en forma disuelta en las grietas en la superficie dañada de la pala de turbina eólica. El líquido acuoso básico puede aplicarse de forma que la resina disuelta precipite nuevamente, por ejemplo, debido a una deprotonación de un grupo amina previamente protonado en una resina basada en epoxiamina. Como resultado de ello, dicha resina precipitada presente en las grietas de la superficie dañada de la pala de turbina eólica puede contribuir al sellado y mejorar el sellado de las grietas, tanto más cuanto que la resina precipitada puede seguir siendo termoplástica y, de este modo, sellar aún más las grietas.

15 En una realización, la base (compuesto alcalino) se selecciona del grupo que consiste en un hidróxido, un hidrogeno carbonato (bicarbonato) y un carbonato. Por ejemplo, sus sales sódicas, tales como hidrogeno carbonato de sodio (NaHCO_3), pueden ser especialmente adecuadas y económicas.

20 En una realización, el método comprende, además, después de la etapa de aplicar un líquido acuoso básico, una etapa de aplicar (una o más capas de) un adhesivo termofusible (reactivo) que comprende un grupo funcional isocianato o un grupo funcional isocianato bloqueado en la parte de la superficie de la pala de turbina eólica (donde se han aplicado el líquido acuoso ácido y el líquido acuoso básico). Tomando esta medida, también pueden sellarse de forma eficiente las grietas más grandes. El adhesivo termofusible puede aplicarse en forma de lámina o en forma de polvo. El adhesivo termofusible puede ser sólido y, en particular, puede comprender un adhesivo termofusible de poliuretano (PU), que puede tener un punto de fusión similar al del material termoplástico que puede obtenerse a partir de la resina de la pala de turbina eólica. El adhesivo termofusible comprende un grupo funcional isocianato o un grupo funcional isocianato bloqueado. Ejemplos adecuados de un grupo funcional isocianato bloqueado incluyen un grupo funcional isocianato bloqueado con un alcohol (es decir, como un grupo funcional uretano o carbamato) y/o una amina (es decir, como un grupo funcional urea). Antes de una reacción posterior, como se describirá más adelante, un grupo funcional isocianato bloqueado tiene que desbloquearse mediante la escisión de las partes de bloqueo (tal como alcohol o amina), por ejemplo, calentando el grupo funcional isocianato bloqueado a una temperatura adecuada para la liberación de las partes de bloqueo respectivas, como conoce un experto en la técnica.

35 En una realización, el adhesivo termofusible (reactivo) se aplica de modo que se formen enlaces covalentes entre el grupo funcional isocianato (desbloqueado) del adhesivo termofusible y los grupos hidroxilo de la resina; en otras palabras, de modo que los grupos funcionales isocianato (desbloqueados) del adhesivo termofusible reaccionen con los grupos hidroxilo de la resina que se han formado a partir de los grupos funcionales escindibles de la resina. Tomando esta medida puede establecerse un enlace covalente fuerte entre el adhesivo y los grupos hidroxilo recién formados, y el termoplástico puede volver a reticularse para mejorar aún más las propiedades mecánicas del termoplástico.

40 En una realización, el método comprende, además, después de la etapa de aplicar un líquido acuoso básico y, opcionalmente, de la etapa de aplicar un adhesivo termofusible, una etapa de secar la parte de la superficie de la pala de turbina eólica. Preferiblemente, el secado puede implicar un secado activo, tal como mediante calentamiento. Sin embargo, el secado también puede implicar un secado pasivo, es decir, dejar secar.

45 En un aspecto adicional, una pala de turbina eólica (reparada) puede obtenerse, o se obtiene, mediante un método como el descrito en la presente memoria. Mediante el método de reparación descrito en la presente memoria, no solo es posible cerrar o sellar las grietas de una pala de turbina eólica a reparar, sino que una pala de turbina eólica así reparada también difiere de una pala de turbina eólica original (completamente nueva) en que los grupos funcionales escindibles presentes inicialmente han sido consumidos por el proceso de reparación, en particular, mediante la escisión de los enlaces y la liberación, por ejemplo, de aldehídos y/o cetonas, como resulta evidente del esquema de reacción de escisión descrito anteriormente.

55 La invención o las realizaciones de la invención descritas en este documento pueden resumirse de forma descriptiva como sigue:

La superficie del área dañada en una pala de turbina eólica puede humedecerse con un ácido acuoso, p. ej., ácido acético al 30 %, que puede actuar como disolvente y ácido y que se ha demostrado funcionar bien para el propósito descrito en la presente memoria. Otros ácidos pueden ser, p. ej., ácido láctico, ácido cítrico, ácido oxálico o tartárico, que pueden utilizarse con o sin un disolvente adicional, p. ej., un disolvente polar, como etanol, butanol o DMSO. De forma general, el ácido debe tener una buena solubilidad/miscibilidad en agua o una mezcla de agua/disolvente, y preferiblemente también podrá actuar como disolvente. De forma ideal, el ácido también es capaz de interactuar con sustancias no polares y disolverlas. El disolvente opcional debe poder migrar a la estructura termoestable e hincharla, de forma ideal, en combinación con la capacidad de formar enlaces de hidrógeno fuertes (disolventes próticos polares) y, por lo tanto, escindir los enlaces de hidrógeno que se encuentran en la estructura termoestable.

- Según una realización de la invención, la solución ácida empapa preferiblemente un vehículo (vehículo, esponja o similar) o se inmoviliza en forma de hidrogel (p. ej., basada en quitosano) para evitar que la solución escurra. El vehículo o gel que contiene el catalizador ácido puede ajustarse al tamaño del área dañada para evitar que las áreas no dañadas se vean afectadas. El área dañada puede cubrirse con un dispositivo de calentamiento, p. ej., una manta térmica. El área dañada se calienta preferiblemente a 80-90 °C para activar la superficie mediante la escisión de los grupos acetal/cetal en la red. El tiempo de calentamiento será suficiente para escindir los enlaces acetal en la capa más exterior de la pala y convertir la estructura termoestable en un material termoplástico. Sin embargo, debe seleccionarse un tiempo de calentamiento que evite la escisión en el material base. Basándose en experimentos, el tiempo de calentamiento preferiblemente no será superior a una hora.
- Después del calentamiento, la solución ácida puede neutralizarse. En caso de que se haya usado un vehículo o un ácido inmovilizado, el material se retira y la superficie se trata con una solución ligeramente básica, p. ej., una base basada en hidróxido o carbonato, tal como NaHCO_3 , y la superficie puede secarse completamente después.
- Dependiendo del tamaño del daño, el material termoplástico formado puede utilizarse para estabilizar una pequeña grieta mediante soldadura. Para daños mayores, se añaden una o varias capas de un adhesivo sólido de poliuretano (PU) termofusible reactivo (en forma de lámina o polvo), que tengan un punto de fusión similar al del termoplástico recibido de la matriz laminada. El adhesivo termofusible de PU reactivo contiene un componente de isocianato o isocianato bloqueado que puede reaccionar con los grupos alcohol libres de la resina epoxi escindida (que se representan en el esquema de reacción de escisión anterior) que se obtiene en el tratamiento con ácido y base secuencial. Con esta estrategia, puede establecerse un enlace covalente fuerte entre el adhesivo y los grupos reactivos recién formados, y el termoplástico puede volver a reticularse para mejorar las ya buenas propiedades mecánicas del termoplástico.
- Si bien la presente invención se ha descrito en detalle mediante realizaciones y ejemplos específicos, debe apreciarse que la invención no se limita a los mismos y que son posibles diversas alteraciones y modificaciones, sin apartarse del ámbito de la invención como se define en las reivindicaciones adjuntas.

REIVINDICACIONES

1. Un método para reparar una pala de turbina eólica que comprende una resina que contiene un grupo funcional escindible, comprendiendo el método:
5 aplicar un líquido acuoso ácido que comprende un ácido en una parte de una superficie de la pala de turbina eólica,
 calentar la parte de la superficie de la pala de turbina eólica,
10 aplicar un líquido acuoso básico que comprende una base a la parte de la superficie de la pala de turbina eólica.
2. El método según la reivindicación 1, en donde la resina comprende al menos una de una resina basada en epoxi y una resina basada en epoxiamina.
- 15 3. El método según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el grupo funcional escindible comprende al menos uno de un grupo funcional acetal y un grupo funcional cetel.
4. El método según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el ácido es un ácido orgánico.
- 20 5. El método según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el ácido comprende al menos uno del grupo que consiste en ácido acético, ácido láctico, ácido cítrico, ácido oxálico y ácido tartárico.
6. El método según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el líquido acuoso ácido comprende además un disolvente, en particular, un disolvente polar, tal como un disolvente seleccionado del grupo que consiste en etanol, propanol, butanol y dimetilsulfóxido.
25
7. El método según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el líquido acuoso ácido se inmoviliza sobre y/o en un vehículo y/o en forma de un hidrogel cuando se aplica.
- 30 8. El método según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde la superficie de la pala de turbina eólica se calienta

 -de forma que al menos parte de los grupos funcionales escindibles de la resina en una capa más exterior de la pala de turbina eólica se escindan y/o
35 -de forma que al menos parte de la resina en una capa más exterior de la pala de turbina eólica se disuelva en el líquido acuoso ácido y/o
 -de forma que una estructura termoestable en una capa más exterior de la pala de turbina eólica se transforme al menos parcialmente en un material termoplástico.
- 40 9. El método según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde la superficie de la pala de turbina eólica se calienta a una temperatura en un intervalo de 70 °C a 100 °C y/o durante un tiempo de calentamiento en un intervalo de 1 minuto a 1 h.
- 45 10. El método según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el líquido acuoso básico se aplica

 -de forma que el líquido acuoso ácido aplicado se neutralice y/o
 -de forma que la resina disuelta precipite.
- 50 11. El método según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde la base se selecciona del grupo que consiste en un hidróxido, un hidrogeno carbonato y un carbonato.
12. El método según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el método comprende, además: después de la etapa de aplicar un líquido acuoso básico, aplicar un adhesivo termofusible que comprende un grupo funcional isocianato o un grupo funcional isocianato bloqueado en la parte de la superficie de la pala de turbina eólica.
55
13. El método según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el adhesivo termofusible se aplica de forma que se formen enlaces covalentes entre el grupo funcional isocianato del adhesivo termofusible y los grupos hidroxilo de la resina.
60
14. El método según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el método comprende, además: después de la etapa de aplicar un líquido acuoso básico y, opcionalmente, de la etapa de aplicar un adhesivo termofusible, secar la parte de la superficie de la pala de turbina eólica.
- 65 15. Una pala de turbina eólica obtenible mediante un método según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores.