

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 709 600**

51 Int. Cl.:

B23P 15/00 (2006.01)

B24B 19/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **10.09.2013 E 13183815 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **23.01.2019 EP 2705926**

54 Título: **Proceso de acabado para hacer ranuras de álabe en un disco de rotor**

30 Prioridad:

10.09.2012 IT TO20120780

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

16.04.2019

73 Titular/es:

**GE AVIO S.R.L. (50.0%)
Via I Maggio, 99
Rivalta di Torino, IT y
FIDIA S.P.A. (50.0%)**

72 Inventor/es:

**CHERUBINI, MARCO;
FURXHI, GUIDO y
CANOLA, MAURO**

74 Agente/Representante:

UNGRÍA LÓPEZ, Javier

ES 2 709 600 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

Proceso de acabado para hacer ranuras de álabe en un disco de rotor

5 La presente invención se refiere a un proceso de acabado para hacer ranuras de álabe en un disco de rotor.

10 Como es conocido, los discos rotativos instalados en turbinas de gas, por ejemplo, para propulsión aeronáutica, para propulsión marina o para la producción de electricidad, tienen múltiples ranuras formadas a lo largo de su periferia para montar álabes respectivos. En particular, los álabes incluyen respectivas raíces que tienen un perfil complementario al de las ranuras de modo que pueden insertarse y fijarse en las ranuras.

15 Las ranuras están orientadas en una dirección paralela o inclinada con respecto al eje de rotación del disco de rotor y tienen generalmente un perfil de múltiples lóbulos (sustancialmente en forma de un árbol o pino, de hecho, en inglés, también se llaman "ranuras de abeto"). Más específicamente, cada ranura se define por una superficie inferior, llamada 'parte inferior', y dos superficies laterales, llamadas 'lados', que están conformadas de manera que formen dichos lóbulos y están unidas por medio de la parte inferior.

20 Para hacer dichas ranuras, se conoce el uso de un proceso de escariado, es decir, un proceso de extracción de virutas que se lleva a cabo usando una serie de herramientas de corte con formas definidas, por ejemplo, para el desbastado y acabado de las superficies de las ranuras.

El proceso de escariado tiene varios inconvenientes:

25 - al final del escariado, los bordes de las ranuras pueden tener una rebaba, que hay que quitar por medio de operaciones posteriores (por ejemplo, mediante biselado con pequeñas cortadoras rotativas o mediante cepillado);

- los lados de las ranuras son rectilíneos, sin ninguna posibilidad de generar chaflanes o biseles;

30 - el escariado tiene un alto riesgo de dejar esfuerzo de tracción residual en el material del disco de rotor;

- el escariado tiene un alto riesgo de generar la denominada 'capa blanca' en las superficies maquinadas, con las consiguientes alteraciones del grano cristalino y la integridad microestructural de las superficies;

35 - las herramientas de escariado tienen un alto costo y largos tiempos de adquisición;

- las escariadoras tienen largos tiempos de instalación y costos muy altos por compra de nueva maquinaria.

40 Para poner remedio a algunos de estos inconvenientes, como una alternativa al escariado, se conoce el uso de rectificadoras superabrasivas. En particular, la solicitud de patente US2011/0008172A1 corresponde al preámbulo de la reivindicación 1 y describe el desbastado de la ranura con una primera rectificadora y el acabado por medio de una segunda rectificadora para maquinar los lados y una tercera rectificadora para maquinar la parte inferior. En particular, la segunda rectificadora realiza dos pasadas, maquinando primero un lado y luego el otro.

45 El proceso descrito no es óptimo en términos de la duración de las rectificadoras de acabado, los tiempos de acabado y la flexibilidad de las herramientas.

50 Además, los contactos de las rectificadoras de acabado en los lados durante toda la pasada tienden a desarrollar una cantidad relativamente grande de calor, que puede producir sobrecalentamiento local y, por lo tanto, poner en peligro la integridad superficial del disco de turbina. A este respecto, se recalca que los requisitos de integridad superficial de los discos de turbina son muy estrictos con respecto a la entidad de las tensiones residuales y la extensión subsuperficial de la porción de material que se altera debido a las acciones mecánicas (deformación por cizalladura) y acciones térmicas (altas temperaturas en la zona de formación de virutas) producidas por las herramientas de acabado.

55 La solución descrita en EP1967307 se refiere a la producción de ranuras, definidas por al menos dos operaciones de desbastado, realizadas por medio de respectivas cortadoras, y por una operación de acabado realizada por medio de una rectificadora.

60 Para el desbastado, esta solución implica un movimiento cicloidal de las cortadoras, que permite la rápida expulsión de las virutas producidas por el maquinado. Para el acabado, por otra parte, la rectificadora tiene un perfil complementario al de la ranura a formar y es alimentada hacia delante con un movimiento rectilíneo.

65 Tampoco esta solución es satisfactoria, puesto que el contacto de la rectificadora de acabado con la parte maquinada durante toda la pasada puede generar una gran cantidad de calor y, por lo tanto, crear un estado de superficie sometida a esfuerzo térmico, que aumenta el estado de tensión que deja el fresado.

ES 2 709 600 T3

El objeto de la presente invención es proporcionar un proceso de acabado para hacer ranuras de álabe en un disco de rotor, que resuelve de forma simple y barata los problemas descritos anteriormente.

5 La invención se describirá ahora con referencia a los dibujos acompañantes, que ilustran un ejemplo no limitador de la misma, en los que:

La figura 1 es una vista en perspectiva, con partes quitadas para claridad, de un disco de rotor producido según una realización preferida del proceso de acabado de la presente invención.

10 Las figuras 2 y 3 son vistas frontales de una ranura del disco de rotor de la figura 1 y muestran fases diferentes del proceso de acabado de la presente invención.

Y la figura 4 representa, en perspectiva, la fase de la figura 3.

15 Con referencia a la figura 1, el número 1 indica, en conjunto, un disco de rotor (parcialmente ilustrado) para un compresor o para una turbina, por ejemplo, para propulsión aeronáutica o marina o para la producción de electricidad.

20 El disco de rotor 1 tiene un eje de rotación 2 y está radialmente delimitado por una superficie lateral 4, en la que se han formado múltiples ranuras 5. Las ranuras 5 están angularmente espaciadas alrededor del eje de rotación 2 y tienen sustancialmente un perfil de múltiples lóbulos o "árbol". Como se puede ver en la figura 3, cada ranura 5 se define por una superficie inferior 9, llamada "parte inferior", y por dos superficies laterales 10, llamadas "lados", que miran uno a otro y conectados a la parte inferior 9.

25 En otros términos, los lados 10 de cada ranura 5 son simétricos con respecto a un plano de simetría 11, convergen hacia la parte inferior 9 y se han conformado de manera que presenten múltiples lóbulos o salientes.

Preferiblemente, el plano de simetría 11 de cada ranura 5 es radial con respecto al eje de rotación 2. Alternativamente, el plano de simetría 11 de cada ranura 5 está inclinado con respecto al eje de rotación 2.

30 En el uso, las ranuras 5 son enganchadas por respectivas raíces de álabes, que tienen una forma exterior complementaria al perfil de los lados 10. En particular, los álabes se montan insertando las respectivas raíces en las ranuras 5 a lo largo de los respectivos planos de simetría 11 y, por lo tanto, son retenidos radialmente en las ranuras 5 debido a la forma lobulada concreta de los lados 10.

35 Cada una de las ranuras 5 se forma por medio de una o varias operaciones de desbastado (no descritas en detalle), realizadas, por ejemplo, por un escariador, rectificadoras o cortadoras, y por medio de un proceso posterior de acabado. Como se puede ver en la figura 2, el desbastado permite obtener ranuras 5a definidas por dos lados 10a y una parte inferior 9a, que tienen un material a quitar por medio del proceso de acabado. Éste último se realiza usando solamente dos rectificadoras, en particular rectificadoras superabrasivas, indicadas con los números de referencia 12 (figura 2) y 13 (figura 3). Por ejemplo, el material abrasivo de las rectificadoras 12, 13 se define por nitruro de boro cúbico (CBN), depositado sobre un soporte de forma apropiada. A modo de ejemplo, la velocidad periférica o la velocidad de corte de las rectificadoras 12, 13 es de entre 20 y 80 m/s; considerando las dimensiones reales de las rectificadoras 12, 13, dicha velocidad periférica se traduce en el uso de electrohusillos capaces de trabajar a velocidades de entre 40.000 y 100.000 rpm. Durante las pasadas de las rectificadoras 12, 13, es conveniente usar aceite integral como lubricante de refrigeración, para evitar el excesivo desarrollo de calor y mantener el abrasivo limpio de residuos de rectificado.

40 De nuevo con referencia a la figura 2, la rectificadora 12 debe maquinar la parte inferior 9a, por lo tanto, tiene una superficie lateral 14 con un perfil complementario al de la parte inferior 9 a obtener. Ventajosamente, la rectificadora 12 es una rectificadora de disco que tiene un eje de rotación 15 perpendicular al plano de simetría 11. Preferiblemente, la rectificadora 12 se usa antes que la rectificadora 13, por lo tanto, debe tener una altura, paralela al eje de rotación 15, menor que la distancia mínima entre los lados 10a.

55 Como se puede ver en las figuras 3 y 4, la rectificadora 13 debe maquinar los lados 10a y se define por una rectificadora de dedo que tiene un eje de rotación 16 que, preferiblemente, es paralelo a un eje radial 17 que está en el plano de simetría 11.

60 La rectificadora 13 tiene una superficie lateral 18 definida por una directriz circular y por una generatriz que tiene un perfil complementario al de los lados 10 a obtener.

La rectificadora 13 termina en una punta redondeada 19, que tiene preferiblemente un rebaje axial (no ilustrado) para no entrar en contacto con la parte inferior 9 previamente obtenida por medio de la rectificadora 12 y, por lo tanto, evitar velocidades de rectificado periféricas que sean demasiado bajas, lo que produciría quemado y excesivo desgaste del material abrasivo de la rectificadora 13.

65

Según una realización preferida, aplicable en particular si el material en cada lado 10a es menos de 0,5 mm, dicho material es quitado de ambos lados 10a con una sola pasada de la rectificadora 13, que es movida a lo largo de un recorrido trocoidal o cicloidal P (figura 4) incluyendo la combinación de:

5 - un componente de traslación a lo largo de una dirección de alimentación A (figura 4) que está en el plano de simetría 11, y

- un componente de revolución a lo largo de una trayectoria de bucle B (figura 3) que está en un plano ortogonal al plano de simetría 11.

10 La superficie lateral 18 tiene un diámetro menor que la distancia nominal requerida entre los lados 10 de la ranura 5, y también con respecto a la distancia entre los lados 10a, con el fin de realizar el rectificado en contacto con solamente uno de los dos lados 10a a la vez.

15 La amplitud de la trayectoria de bucle B se establece con el fin de contactar alternativamente ambos lados 10a. En otros términos, el material abrasivo de la rectificadora 13 entra en contacto con cada uno de los dos lados 10a de manera discontinua, alternando el contacto con un lado y luego con el otro lado 10a. Debido a esta discontinuidad del contacto de rectificado, las temperaturas de maquinado son más bajas y, por lo tanto, las herramientas duran más que en las soluciones conocidas.

20 La trayectoria de bucle B puede ser definida por un círculo o, preferiblemente, por una elipse. En este segundo caso, la elipse se define por un primer eje que está en la dirección de alimentación A y un segundo eje ortogonal al plano de simetría 11. La longitud de este segundo eje se pone finamente (también con correcciones micrométricas) para obtener la distancia nominal requerida entre los lados 10.

25 Según un aspecto preferido de la presente invención, es posible regular la longitud del segundo eje también durante la pasada, con el fin de producir ranuras de anchura variable. Por ejemplo, de esta forma es posible producir lados 10 que tienen biseles de entrada en los extremos delantero y trasero; y/o es posible compensar cualesquiera variaciones de rigidez del material del disco de rotor 1 entre una zona y otra en la dirección de alimentación A, obteniendo así un paralelismo perfecto entre los lados 10.

30 En el caso de la trayectoria de bucle B de tipo elíptico, aunque la longitud del segundo eje se varíe por medio del software de control de maquinado, es posible dejar inalterada la longitud del primer eje y la velocidad del componente de traslación en la dirección de alimentación A. Haciendo los ajustes de longitud de los ejes primero y segundo independientemente, es posible realizar maquinado con velocidad general constante en la dirección de alimentación A, pero variar la amplitud de la ranura 5 durante la pasada.

35 Según una variación, es posible realizar dos o más pasadas sucesivas, siempre con la misma rectificadora 13 y siempre siguiendo trayectorias trocoidales, pero incrementando la amplitud de la trayectoria de bucle B en una dirección ortogonal al plano de simetría 11, o variando la excentricidad de la elipse, entre una pasada y la siguiente. De esta forma, el material de los lados 10a se quita un poco cada vez, hasta obtener la distancia nominal requerida entre los lados 10.

40 Por lo anterior son evidentes las ventajas del proceso reivindicado y descrito con referencia a los dibujos acompañantes.

45 En particular, con respecto a las soluciones conocidas, el recorrido trocoidal P permite, en general, una reducción de los tiempos de acabado, porque se quita material de ambos lados 10a durante la misma pasada, y permite mantener la misma colocación de la rectificadora 12 en la máquina herramienta durante todas las pasadas de acabado de los lados 10. Además, el recorrido trocoidal P permite la reducción de las temperaturas en la zona de maquinado, dado que el contacto entre la rectificadora de acabado y los lados 10a es del tipo intermitente y muy breve. En las soluciones conocidas, en particular, el rectificado de acabado se realiza con un recorrido rectilíneo de alimentación, que mantiene la rectificadora de acabado constantemente en contacto con la pieza que se maquina en toda la duración de la pasada. Esta condición significa que, en las soluciones conocidas, el desarrollo local de energía térmica durante el acabado es considerablemente más alto que en el modo de alimentación trocoidal con el consiguiente sobrecalentamiento local que pone en peligro la integridad superficial final de la pieza. En esta invención, por otra parte, la reducción de temperatura durante el acabado implica menos riesgos de dañar el material del disco de rotor 1 en las zonas de rectificado y, por lo tanto, permite obtener una pieza final que no está dañada y tiene muy bajas tensiones residuales en su superficie. Además, la reducción de temperatura con respecto a las soluciones conocidas da lugar a un aumento de duración de las rectificadoras de acabado y permite obtener una mejor calidad de acabado.

50 De nuevo debido al recorrido trocoidal P, es posible utilizar la misma rectificadora 13 con un diámetro dado para rectificar ranuras de diferente anchura, a condición de que los lados 10 tengan el mismo perfil, de modo que el proceso es relativamente flexible.

60

65

ES 2 709 600 T3

Como se ha descrito anteriormente, además, es posible aplicar correcciones a la anchura de las ranuras 5 entre una pasada y la siguiente y/o directamente durante la misma pasada, si es necesario también por medio de control en tiempo real en realimentación. En particular, variando la amplitud del recorrido trocoidal durante el maquinado, es posible producir chaflanes o guías en las zonas de entrada/salida de la ranura 5.

5 El acabado de la parte inferior 9 libera la parte inferior 9 propiamente dicha del material, cualquiera que sea la extensión de dicho material; por lo tanto, el extremo axial de la punta redondeada 19 no encuentra sustancialmente obstáculos a la alimentación en la dirección A durante el rectificado posterior de los lados 10a.

10 El uso de una rectificadora de disco para acabado de la parte inferior 9 también prolonga la vida de la herramienta, puesto que permite incrementar la velocidad de corte con respecto a las soluciones conocidas, evitando, por lo tanto, el quemado del material abrasivo.

15 Por lo anterior parece evidente que se puede hacer modificaciones o variaciones en el proceso descrito sin apartarse del alcance de protección definido por las reivindicaciones anexas.

En particular, la forma de las rectificadoras 12, 13 podría ser diferente de la ilustrada en las figuras anexas a modo de ejemplo.

20

REIVINDICACIONES

- 5 1. Proceso de acabado para hacer ranuras de álabe (5) en un disco de rotor (1), definiéndose cada ranura (5) por una superficie inferior (9) y por dos superficies laterales (10, 10a), que están unidas a dicha superficie inferior (9) y son simétricas con respecto a un plano de simetría (11); realizándose el proceso de acabado después de un proceso de desbastado e incluyendo, por cada ranura:
- 10 - un paso de acabado de parte inferior, donde dicha superficie inferior (9) es rectificadora por medio de una rectificadora adecuada (12); y
- 15 **caracterizado porque** el paso de acabado lateral de cada ranura incluye al menos una pasada de dicha rectificadora de dedo (13) a lo largo de un recorrido trocoidal, que incluye la combinación de:
- 20 - un componente de traslación a lo largo de una dirección de alimentación (A) que está en dicho plano de simetría (11), y
- un componente de revolución a lo largo de una trayectoria de bucle (B) que está en un plano ortogonal a dicho plano de simetría (11);
- 25 y porque la amplitud de dicha trayectoria de bucle (B) se pone de manera que ponga dicha rectificadora de dedo (13) en contacto con dichas superficies laterales (10, 10a) de forma alterna y quite material de ambas superficies laterales (10, 10a) durante la misma pasada.
- 30 2. El proceso según la reivindicación 1, **caracterizado porque** dicha rectificadora de dedo (13) tiene un eje de rotación paralelo a dicho plano de simetría (11).
- 35 3. El proceso según la reivindicación 1 o 2, **caracterizado porque** dicha trayectoria de bucle (B) se define por una elipse que tiene un primer eje que está en dicha dirección de alimentación (A) y un segundo eje ortogonal a dicho plano de simetría (11).
- 40 4. El proceso según la reivindicación 3, **caracterizado por** variar la longitud de dicho segundo eje durante dicha pasada.
- 45 5. El proceso según la reivindicación 4, **caracterizado porque** la longitud de dicho primer eje y la velocidad de dicho componente de traslación son constantes durante dicha pasada.
- 50 6. El proceso según alguna de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado porque** el paso de acabado lateral de cada ranura incluye una primera y al menos una segunda pasada sucesiva de dicha rectificadora de dedo (13) a lo largo de recorridos trocoidales; y porque la amplitud de dicha trayectoria de bucle (B) se incrementa entre dichas pasadas primera y segunda.
7. El proceso según alguna de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado porque** dicha rectificadora adecuada se define por una rectificadora de disco (12) que gira alrededor de un eje de rotación perpendicular a dicho plano de simetría (11).
8. El proceso según alguna de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado porque** dicho paso de acabado lateral se lleva a cabo después de dicho paso de acabado inferior.

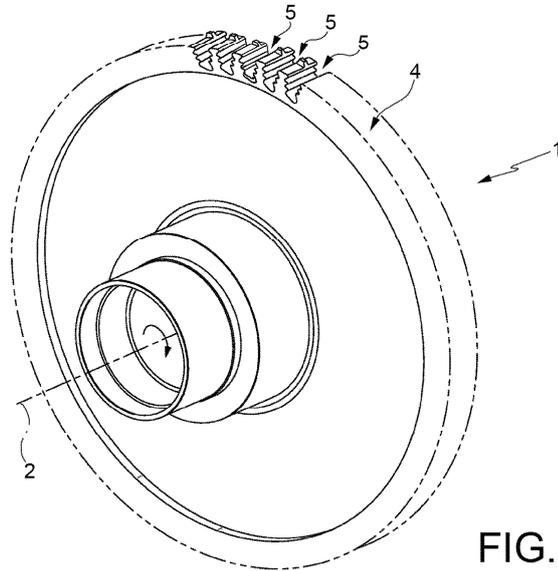


FIG. 1

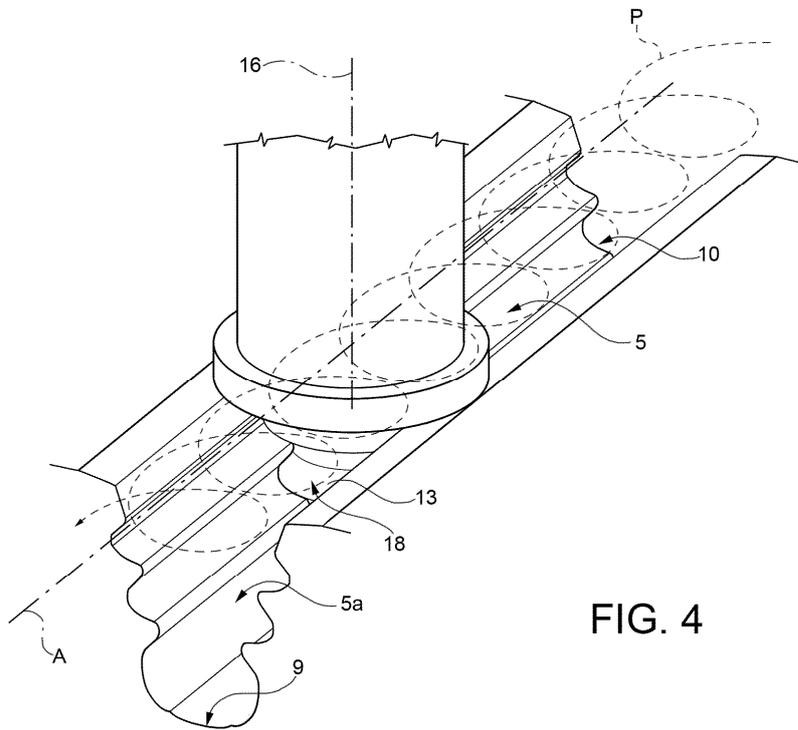


FIG. 4

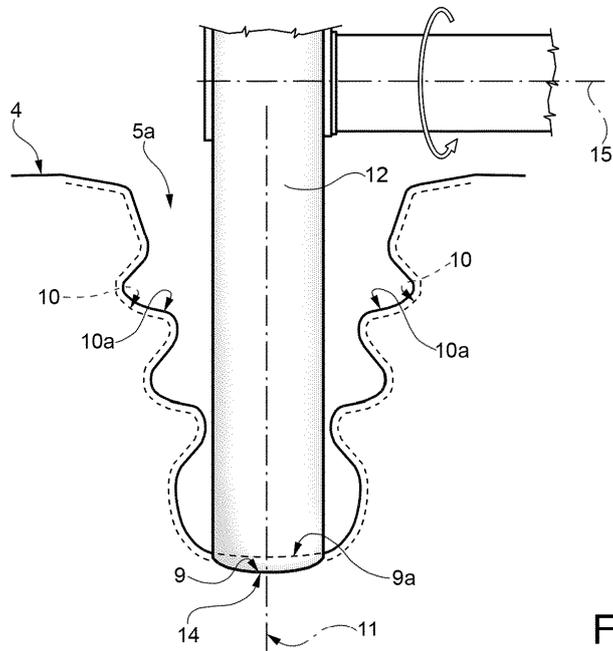


FIG. 2

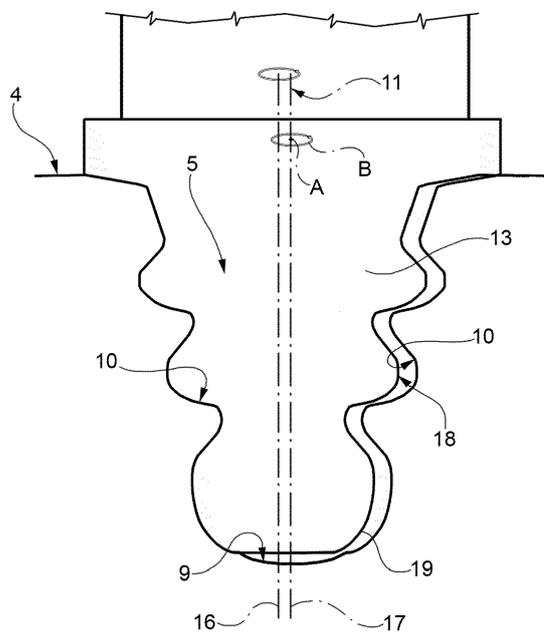


FIG. 3