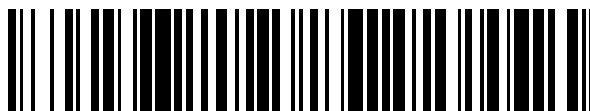


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 658 065**

51 Int. Cl.:

B22D 11/14 (2006.01)

B21B 1/46 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **20.08.2015** **E 15181694 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **15.11.2017** **EP 2998046**

54 Título: **Planta integrada con muy bajo impacto ambiental para fabricar fleje de acero laminado en caliente y laminado en frío**

30 Prioridad:

12.09.2014 IT MI20141581

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

08.03.2018

73 Titular/es:

**ARVEDI STEEL ENGINEERING S.P.A. (100.0%)
Piazza Lodi 7
26100 Cremona , IT**

72 Inventor/es:

ARVEDI, GIOVANNI

74 Agente/Representante:

DURAN-CORRETJER, S.L.P

ES 2 658 065 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

Planta integrada con muy bajo impacto ambiental para fabricar fleje de acero laminado en caliente y laminado en frío

5 La presente invención se refiere a una planta integrada con bajo impacto ambiental (denominada "fábrica verde") para la fabricación de fleje de acero laminado en caliente y laminado en frío en una amplia variedad dimensional con alta productividad y flexibilidad de la planta, y una alta calidad del fleje.

10 Es conocido que el ciclo de producción para la fabricación de 4 millones de toneladas/año de bobinas de fleje de acero se basa en el denominado "ciclo integral", que utiliza carbón para la fabricación de coque metalúrgico, cal y fundente que, combinados con mineral de hierro fino, generan gránulos y sinterizado después de un proceso en plantas especiales. Los gránulos y el sinterizado, cargados con el coque en el alto horno, se transforman en hierro líquido fundido y escoria.

15 A partir del hierro colado se obtiene a continuación el acero en el proceso del convertidor, que reduce drásticamente el contenido de carbono. El acero es refinado a continuación en una planta de desgasificación y procesado en análisis químico, en instalaciones de tratamiento especiales. El acero es colado a continuación mediante colada continua, que produce desbastes de aproximadamente 200 a 250 mm de grosor, 1.500 a 2.000 mm de anchura y de 8 a 12 m de largo.

20 Los desbastes que salen de la colada continua son almacenados a continuación en un depósito y posteriormente retomados según el programa de fabricación para ser calentados en un horno que pone los desbastes a la temperatura óptima (aproximadamente 1.200°C) para la siguiente fase de laminación en caliente. Esta fase comprende normalmente el paso por una primera serie de cajas que llevan a cabo operaciones de desbastado y reducen el desbaste a un grosor de aproximadamente 35 a 50 mm, y a continuación se lleva a cabo la laminación en un tren que utiliza hasta siete cajas. Desde aquí, el material laminado es enviado, después de enfriado, al enrollado de los rollos que generan las bobinas de fleje laminado.

30 El producto caliente de este tipo de planta está normalmente en el intervalo de grosores de 1,8 a 15 mm, con una gran predominancia de grosores mayores de 2,5 mm, dado que este tipo de planta es inadecuada para la fabricación de bobinas de grosor fino. Los grosores finos se fabrican normalmente por medio de ciclos en frío que utilizan grandes equipos de acabado, tales como trenes de decapado, laminado en frío con cinco cajas, e instalaciones de recocido, galvanizado y pintura.

35 Una típica planta integrada de este tipo, desde la primera materia hasta los productos acabados, para una capacidad de 4 millones de toneladas/año, ocupa espacios muy grandes, normalmente de 5 a 8 millones de metros cuadrados. La topología de estas plantas es poco flexible e implica la necesidad de grandes cantidades de materiales intermedios almacenados (desbastes, bobinas laminadas en caliente, bobinas laminadas en frío, etc.) para unos pocos millones de toneladas en conjunto, con el consiguiente aumento de los costes de fabricación.

40 Desde un punto de vista energético, los costes son muy elevados tanto por los costes de calentamiento del material como por los costes de laminación debido al elevado número de cajas. El impacto ambiental es asimismo considerable y se debe principalmente al polvo fino, en particular en las coquerías y en el alto horno.

45 Estudios anteriores han tenido ya el objetivo de reducir los costes ambientales y energéticos de la plantas de acero tradicionales, sin proporcionar no obstante mejoras realmente significativas y plantas de trabajo actualizadas con la capacidad de fabricación mencionada anteriormente, tal como en el documento "Future steelmaking plant with minimized energy consumption and waste evolution" ("planta futura de fabricación de acero con consumo de energía minimizado y evolución de residuos"), de Emi y otros, en Scandinavian Journal of Metallurgy, 2000, volumen 29, páginas 187 a 193, o en el documento "TXI Chaparral Steel: the new Virginia structural mill" ("TXI Chaparral Steel: el nuevo laminador estructural de Virginia"), de Samways, en Iron and Steel Engineer, octubre de 1999, páginas 21 a 27.

55 Se sabe asimismo que con la tecnología de desbastes delgados es posible fabricar plantas con costes energéticos reducidos y bajo impacto ambiental, mediante una colada de desbastes delgados de menos de 100 mm de grosor y en las que el acero líquido se produce fundiendo chatarra de hierro. Sin embargo, con este tipo de tecnología no es posible fabricar más de 1,5 millones de toneladas/año con una línea de colada/laminación y 3 millones de toneladas/año con dos líneas, con problemas de rentabilidad especialmente en tiempos, como son los actuales, en que el precio de venta de las bobinas es bajo.

60 Existe por lo tanto la necesidad de realizar fábricas extremadamente compactas que puedan producir una cantidad igual a 3-4 millones de toneladas/año o más de bobinas de muy alta calidad y con una mezcla de fabricación elevada, con una única línea de colada continua conectada directamente sin solución de continuidad al laminador de acabado, con bajos costes de inversión y fabricación pero respetuosa con el medio ambiente.

65 La idea subyacente a la presente invención es realizar una fábrica con muy bajo impacto ambiental (fábrica verde),

5 con un consumo por unidad de producto reducido en un 50 % tanto en energía como en agua. Este resultado se consigue gracias a la corta distancia, no solamente entre el laminador de acero y la máquina de colada, sino especialmente entre la colada continua y la bobinadora de rollos del fleje laminado en caliente, utilizando la tecnología de fabricación continua (denominada sinfín) que minimiza el tiempo de fabricación y el consumo, reduciendo de ese modo los costes de fabricación. La fábrica verde se caracteriza asimismo por una reducción considerable de primeras materias y emisiones así como por una elevada tasa de reciclado, recuperándose incluso parte del calor utilizado en el ciclo de fabricación.

10 A tal efecto, la fábrica verde según la presente invención comprende una sección de fundición para la fabricación de acero líquido conectada directamente a una sección de colada continua y laminación en caliente, que está conectada a su vez a una sección de laminación en frío que está en conexión con una sección de acabado (tratamiento galvanico, recubrimiento, recocido), una sección de corte longitudinal que puede recibir bobinas de cada una de las tres secciones de trabajo mencionadas anteriormente (laminación en caliente, laminación en frío, acabado). Además, una sección de trituración de vehículos produce chatarra de metal para ser utilizada como primera materia para la fundición, una sección de incineración de residuos de la trituración de vehículos genera corriente para la planta, y finalmente una sección de tratamiento de escoria de fundición está dedicada al reciclado de la escoria y la recuperación de calor de ésta. A este respecto, el documento EP 2636761 da a conocer un aparato para recuperar metales valiosos a partir de la escoria fundida de un alto horno, convertidor u horno eléctrico.

20 Una primera ventaja fundamental de la planta según la presente invención es proporcionar una fábrica, con un ciclo de fabricación en línea, de extrema compacidad en términos de espacio y de tiempos de los ciclos de fabricación, de tal modo que se puede realizar completamente en espacios de menos de 700.000 m². Dicha planta permite fabricar, con una única línea de colada continua conectada directamente sin solución de continuidad al laminador de acabado, una cantidad igual a 3-4 millones de toneladas/año o más de bobinas de muy alta calidad y para todas las aplicaciones, incluyendo las partes interiores y exteriores de automóviles, con una alta mezcla de grosores y un máximo respeto al medio ambiente.

30 Una segunda ventaja importante de la fábrica realizada con las explicaciones de la presente invención reside en el hecho de que tiene costes de inversión y de proceso muy competitivos, es extremadamente respetuosa con el medio ambiente y tiene un impacto ambiental mínimo, en particular por la reducción del consumo de energía y de agua (hasta el 50 %) por unidad de producto y por la emisión de gases y de ruido reducida al mínimo, gracias al hecho de que las secciones están alojadas en naves completamente cerradas e insonorizadas.

35 Otra ventaja de esta fábrica es la disposición de un entorno de trabajo interior "amigable para el ser humano" en el que los trabajadores, gracias a la automatización integrada de todas las plantas, pueden supervisar todos los procesos de fabricación en plataformas ergonómicas e insonorizadas, sin la necesidad de estar en contacto directo con el acero.

40 Otras ventajas y características de la planta según la presente invención resultarán evidentes para los expertos en la materia partir de la siguiente descripción detallada y no limitativa de una realización de la misma, haciendo referencia a los dibujos adjuntos, en los cuales:

45 la figura 1 es una vista esquemática de las diferentes secciones que constituyen la planta y de sus conexiones, con la excepción de la sección de tratamiento de escoria de fundición, que se omite;

la figura 2 es una vista esquemática, en sección longitudinal, de la viga de la sección de tratamiento de escoria de fundición;

50 la figura 3 es una vista esquemática, en sección transversal, de la cubeta de recogida de dicha escoria;

la figura 4 es una vista, en perspectiva, parcialmente rota, de la estructura de los paneles utilizados para fabricar las naves de la cubierta de las secciones;

55 la figura 5 es una vista, en perspectiva, de una máquina de colada continua, en la versión con el freno electromagnético externo al circuito de refrigeración del molde, y representada en una posición no operativa;

la figura 6 es una vista, en perspectiva, de la máquina de colada de la figura 5 con el freno electromagnético representado en la posición operativa;

60 la figura 7 es una vista, en perspectiva, de una máquina de colada continua, en la versión con el freno electromagnético interno al circuito de refrigeración del molde;

65 la figura 8 es una vista frontal esquemática que muestra la magnitud de la onda generada por la turbulencia del acero líquido introducido en el molde;

la figura 9 es una vista esquemática, en planta desde arriba, que muestra el perfil de los terminales de los núcleos

magnéticos del freno electromagnético;

la figura 10 es una vista lateral esquemática que muestra el perfil de los terminales de los núcleos magnéticos del freno electromagnético; y

la figura 11 es un diagrama del circuito de refrigeración del molde.

Haciendo referencia a la figura 1, se observa que una planta según la presente invención comprende una sección de fundición SF para la producción de acero líquido que es alimentado directamente a una sección adyacente CCHR para la colada continua y la laminación en caliente a un grosor entre 0,8 y 25 mm. Más específicamente, esta sección CCHR comprende un dispositivo para la colada continua de un desbaste delgado con reducción con núcleo líquido (LCR, liquid core reduction) seguida por un laminador de acabado capaz de reducir los desbastes delgados a un fleje del grosor final deseado, además de un dispositivo para refrigerar el fleje obtenido de este modo y una estación de bobinado final dotada de las cizallas correspondientes para obtener bobinas HRC.

Las bobinas HRC de fleje de acero laminado en caliente obtenidas en la sección CCHR se pueden transferir para su posible procesamiento adicional a una sección adyacente de decapado y laminación en frío PCR que comprende líneas con diferentes trenes de laminación, por ejemplo una línea con tres cajas de laminación para obtener un grosor entre 0,2 y 1 mm.

Análogamente, las bobinas CRC de fleje de acero laminado en frío obtenidas en la sección PCR pueden ser transferidas a continuación para su posible procesamiento adicional a una sección de corte longitudinal SL o a una sección de acabado de bobinas CF adyacente que puede comprender líneas HDGL para un tratamiento de galvanizado por inmersión en caliente (habitualmente, recubrimiento de zinc), líneas HDGCL para un tratamiento de galvanizado por inmersión en caliente combinado con un recubrimiento adicional (habitualmente, pintura), y líneas AL para el recocido. A este respecto, el documento WO 00/00317 da a conocer un aparato cortador para el corte de flejes de acero.

La amplia gama de productos acabados que se pueden obtener con la presente planta comprende por lo tanto bobinas HRC de fleje de acero laminado en caliente con un grosor comprendido entre 0,8 y 25 mm, siendo la anchura máxima igual a la anchura del molde, y bobinas CRC de fleje de acero laminado en frío con un grosor comprendido entre 0,2 y 2 mm que pueden ser posteriormente recubiertas con zinc (HDGC) o recubiertas con zinc y pintadas (HDGCC). Una típica mezcla de productos acabados para una producción de 4 millones de toneladas/año incluye 1 millón de HRC y 3 millones de CRC divididos por mitades entre grosores menores y mayores.

En la sección SF, la presente invención adopta las tecnologías de fusión más avanzadas de primeras materias, tales como chatarra metálica, DRI (Direct Reduced Iron, hierro directamente reducido), HBI (Hot Briquetted Iron, hierro briqueteado en caliente) y hierro colado para obtener el acero líquido que a continuación es refinado, procesado y cargado con las ferroaleaciones apropiadas para quedar preparado para la colada en la sección CCHR. Estas fases de fusión y refinado del acero líquido se llevan a cabo en el interior de naves que están cerradas y mantenidas en depresión, para impedir el escape de gases que son aspirados por una planta especial y filtrados antes de su emisión a la atmósfera en instalaciones adecuadas para reducir los contaminantes, que utilizan las tecnologías más avanzadas disponibles.

A modo de ejemplo, la sección SF esquematizada comprende en este caso dos hornos de arco eléctrico de fusión EAF, tres hornos de cuchara LF, dos hornos de descarburación al vacío VOD y un sistema de desgasificación al vacío RH (Ruhrstahl-Heraeus).

Para los fabricantes de acero a partir de horno eléctrico, la disponibilidad de chatarra de buena calidad en cantidades adecuadas es crítica, y para este propósito está dispuesta una sección AS en la que se utiliza un laminador para aplastar y triturar "paquetes" de carrocerías de vehículos, y se utiliza un procedimiento para la recuperación de elementos residuales (metales tales como plomo, cobre, zinc y estaño) cuya presencia en el acero puede afectar a la fabricación de aceros de alta calidad.

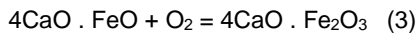
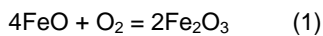
En la presente planta está dispuesta asimismo una sección ASRB en la que está implementado un proceso para la recuperación de la energía de los residuos consistentes en una mezcla de varios tipos de materiales, tales como plásticos, cauchos, textiles, vidrio (denominado ASR = residuos de trituración de automóviles (Automobile Shredder Residue) o "material desmenuzado" ("fluff")), en lugar de desecharlos casi íntegramente en un vertedero, tal como se hace actualmente según el estado de la técnica. Para este propósito se utiliza, tal como se describe en la patente italiana número 1416512, un reactor compacto y un proceso de piro-gasificación de material desmenuzado, optimizado en términos de eficiencia termoquímica y termo-fluidodinámica, maximizando de este modo la extracción del contenido de energía del material alimentado.

La electricidad generada a partir de la energía térmica obtenida del material desmenuzado en la sección ASRB es alimentada a la red de la planta, contribuyendo por lo tanto a la reducción de los kWh necesarios para producir 1 tonelada de acero. De este modo, el valor calculado, cumpliendo los criterios de PAS 2050:2011, de la huella de

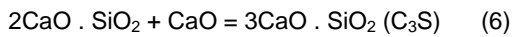
5 carbono del producto acabado es menor de 1.300 kg CO₂/tonelada, con respecto a 1 tonelada de acero de carbono laminado en caliente de tipo S235 JR (baja aleación) de 2 mm de grosor y 1.500 m de anchura, con una producción horaria de 330 toneladas/hora. Este valor incluye la primera materia (principalmente, chatarra de acero), el proceso de fusión en el horno EAF y el proceso sinfín de colada continua y laminación del fleje, incluyendo el sistema de refrigeración por agua (el denominado valor "cuna a puerta" ("cradle-to-gate")).

10 En el proceso de fabricación de acero, una parte sustancial de los desechos de fabricación está representada por la escoria que se origina en el proceso de fusión. En particular, en los procesos basados en hornos de fusión eléctricos EAF del tipo Siemens-Martin, el porcentaje de escoria producida por cada unidad de acero líquido es de aproximadamente el 16 % en peso. Esta escoria es normalmente descargada en zonas exteriores de enfriamiento/tratamiento para su posterior eliminación, que implica emisiones de vapor y la posibilidad remota de lanzamiento de materiales en el caso de contacto directo de la escoria líquida con cantidades significativas de agua.

15 La química básica que se produce durante el proceso de enfriamiento de la escoria consiste en algunas modificaciones en las que el óxido de hierro FeO se oxida a óxido férrico Fe₂O₃, que reacciona con los óxidos de cal y aluminio formando minerales después del proceso de cementación:



El silicio y la alúmina presentes en la escoria reaccionan asimismo con la parte de cal libre presente, formando minerales después del proceso de cementación:



35 La monitorización continua de la finalización de estos procesos permite la reutilización de la escoria así modificada, como conglomerado para base de carreteras y como compuesto inerte en la fabricación de hormigón.

40 Haciendo referencia a continuación a la figura 2, se observa que en la fábrica verde objetivo de la presente invención todas las actividades de refrigeración/tratamiento de la escoria se llevan a cabo en interiores. La sección ST para tratamiento de escoria FS está contenida, de hecho, en una nave construida con paneles insonorizados para limitar la propagación de ruido y contener cualquier lanzamiento de materiales. Asimismo, toda la nave está con una ligera depresión para trasladar cualquier emisión a una planta de tratamiento centralizado de gases a través de un sistema especial ECS para capturar las emisiones liberadas desde la escoria FS que se está tratando. Preferentemente, la misma clase de protección del entorno de trabajo y de limitación de las emisiones se aplica asimismo a las otras secciones.

50 La cubeta de enfriamiento de la escoria, mostrada en la figura 3, comprende un sistema HRS para recuperación de calor a partir de la escoria que se descarga a la cubeta a cada finalización del ciclo de fusión de un lote de acero, a intervalos comprendidos entre 35 y 60 minutos. La cubeta acumula una serie de descargas en proporción a su tamaño, a continuación se deja que la cubeta se enfríe y mientras tanto se utiliza una segunda cubeta para continuar las operaciones y la planta funciona por lo tanto de manera alternada.

55 La estructura de la cubeta comprende un depósito interno -1-, un depósito externo impermeable -2- y una capa de material -3- de aislamiento térmico dispuesta entre dichos dos depósitos. El depósito interno -1- tiene una capa inferior -4- de desgaste adecuada para proteger la estructura del propio depósito por cuyo interior pasan tuberías del sistema de recuperación de calor HRS.

60 El tiempo de permanencia de la escoria que se está enfriando en la cubeta permite la transmisión de calor a la estructura subyacente del depósito interno -1- y, gracias a su tamaño, se establece un régimen de temperatura tal que la red de tubos del sistema HRS consigue extraer el calor adicional que resulta de cada nueva descarga. Un sistema de control conmuta automáticamente los circuitos de refrigeración individuales en una configuración en serie/paralelo para adaptar los caudales/temperaturas a las necesidades de los usuarios del calor, tanto en el interior como en el exterior de la fábrica (por ejemplo, calentamiento a distancia).

65 La nave de la sección ST, así como las naves de las otras secciones, está fabricada preferentemente de paneles metálicos aislados con lana mineral de alta densidad, del tipo mostrado en la figura 4. Más específicamente, un

panel consiste en una lámina externa -5- con una sección transversal en forma de C adecuada para soportar una lámina interna -6-, expuesta al ruido, que tiene una superficie micro-perforada detrás de la cual hay una lámina flotante -7- de atenuación del sonido suspendida elásticamente entre dos capas -8-, -8'- de aislamiento de lana mineral de alta densidad (80-100 kg/m³). Además, está dispuesta una hoja protectora -9- entre la lámina micro-perforada -6- y la capa interna -8- de lana mineral.

Variando el tipo de la lámina intermedia -7- de atenuación del sonido y modulando el grosor y la densidad de las capas -8-, -8'- de lana mineral se pueden conseguir niveles variados de atenuación del sonido en relación con la presencia de las fuentes de ruido internas y el diferente espectro sonoro de las mismas. Habitualmente, un panel con solamente la capa interior -8- de lana mineral de 80 mm de grosor tiene un atenuación de 28 ÷ 32 dB en el espectro de $f > 250$ Hz.

La fábrica realizada con las explicaciones de la presente invención consiste en plantas para la fabricación de flejes de acero laminados en caliente/en frío, galvanizados y recubiertos, que se caracterizan por ser lo más compactas posible, respetando al mismo tiempo todas las fases de transformación del acero. Más específicamente, la planta para la fabricación de fleje laminado en caliente se basa en el concepto tecnológico "sinfín" que implica una colada y una laminación conectadas directamente en la línea sin solución de continuidad, para la explotación máxima de la entalpía del acero líquido. Dicha planta es extremadamente compacta (aproximadamente 180 metros de longitud) y permite la fabricación de flejes de acero de alta calidad enrollados en bobinas, que no se pueden obtener con otras plantas convencionales o por medio de otras tecnologías de desbastes delgados a un coste competitivo, pudiendo más del 70 % de las bobinas laminadas en caliente tener un grosor en el intervalo de 0,8 a 1,6 mm y una anchura en el intervalo de 1.560 a 1.800 mm.

La configuración sinfín, descrita por ejemplo en la patente europea número EP 1868748 y representada en la figura 1 en la sección CCHR, se caracteriza por los aspectos importantes consistentes en la conexión directa sin solución de continuidad de las fases de colada continua y laminación, con un único conjunto de cajas que implementa las etapas de desbastado y acabado. Esta solución, además de reducir la demanda de energía prácticamente a la relacionada únicamente con el acabado, dado que elimina el calentamiento derrochador del desbaste sustituido por una única recuperación de temperatura entre la colada y el laminador, es particularmente favorable en términos de productividad del acero debido a que se minimizan las pérdidas debidas a óxido en lugar de las de otros residuos.

Gracias a la tecnología sinfín es posible obtener un fleje laminado en caliente con un grosor mínimo de hasta 0,8 mm con características dimensionales, estructura interna y calidad típicas de los flejes laminados en frío, en particular en relación con la planitud y las muy estrictas tolerancias de grosor, incluso en la cabecera/cola del fleje. Estas propiedades de las bobinas laminadas en caliente HRC permiten obtener, con una posterior etapa de laminación en frío en la sección PCR, flejes con un grosor mínimo de 0,2 mm con excelentes características geométricas.

El enorme progreso técnico en el sector de las plantas de colada continua ha permitido alcanzar caudales cada vez mayores, es decir, aumentar cada vez más la cantidad entregada de acero por unidad de tiempo desde la colada continua. Con las explicaciones de la presente invención, es posible obtener una productividad muy alta de la máquina de colada continua, capaz de coladas de hasta 10 toneladas/minuto de acero gracias al sistema tecnológico particular compuesto del émbolo, el molde y el freno electromagnético (denominado "sistema de molde), tal como se muestra en las figuras 5 a 7.

El freno electromagnético (EMB, electromagnetic brake) es un componente esencial en la consecución de un caudal elevado en la colada continua, y para conseguir un caudal de 10 toneladas/minuto ha sido necesario diseñar una forma geométrica innovadora de los terminales de los núcleos magnéticos del EMB, tal como se muestra en más detalle a continuación.

De hecho, se sabe que los objetivos de la introducción de un freno electromagnético en una máquina de colada continua son principalmente la estabilización del menisco M en el molde, donde comienza la solidificación del acero con la formación de la primera "piel" sólida del producto, y la reducción de la profundidad de penetración de las inclusiones, tanto sólidas como gaseosas. El metal fundido pasa a través del campo magnético estático generado por el EMB y, en virtud del movimiento relativo entre el metal y el campo, se generan corrientes inducidas en el interior del metal que crean un campo magnético inducido. La interacción de este campo inducido con el campo magnético del EMB tiene como resultado una fuerza mecánica (fuerza de Lorentz) opuesta a la dirección del movimiento del metal, lo que tiene como resultado la acción de frenado que es proporcional al cuadrado del campo magnético del EMB.

De este modo, la velocidad del metal fundido se reduce y la energía cinética perdida se transforma en energía térmica, de acuerdo con el principio de conservación de la energía. Por lo tanto, existe una redistribución del flujo de metal en el molde, que permite retener las inclusiones en la zona del menisco M que, además, está más caliente debido a la menor turbulencia.

Existen dos diferentes tipos de construcción del freno electromagnético, que tienen el mismo principio de

funcionamiento pero, dependiendo de la máquina de colada, se puede tener una disposición externa o interna. La primera es preferente en el caso de máquinas nuevas, la segunda se utiliza normalmente en el caso de reconversión en que el espacio disponible es menor. En ambos casos, los moldes deben ser adecuados para su utilización con el EMB, principalmente en lo que se refiere a las cámaras de agua de refrigeración que tienen que estar conformadas para alojar los núcleos del freno, y estar fabricadas de acero inoxidable no magnético, para no afectar el paso del campo magnético a través del molde y no reducir la eficacia del dispositivo.

Considerando la disposición externa, mostrada en las figuras 5 y 6, los componentes del EMB están montados externamente al molde, formados por cuatro desbastes de cobre CP que delimitan el espacio en el que se vierte el acero líquido alimentado a través de la tobera sumergida SN. Estos componentes son:

- un yugo magnético MY que permite el "cierre magnético" del circuito y normalmente está integrado en la estructura de soporte de la máquina de colada;
- dos bobinas eléctricas EC conectadas en serie y formadas de bobinados de cobre que consisten en tubos de sección rectangular refrigerados directamente con agua desionizada; las bobinas EC son alimentadas con corriente continua desde un convertidor y el flujo de dicha corriente a los bobinados crea un campo magnético y permite obtener el efecto de frenado sobre el metal fundido;
- dos núcleos magnéticos MC, en los que están enrolladas las bobinas EC, que están equipados con un sistema de soporte y manipulación para entrar y salir de las cámaras de agua WC del molde; en la posición operativa de la figura 6, los dos núcleos MC son introducidos en las cámaras de agua WC para aproximarlos al molde con el fin de que el campo magnético generado por las bobinas EC atraviese el propio molde, mientras que cuando es necesario sustituir el molde, los dos núcleos MC son retirados por medio del sistema de manipulación (preferentemente hidráulico) a la posición no operativa de la figura 5, de manera que el molde puede ser extraído libremente.

En la disposición interna mostrada en la figura 7, todos los componentes del EMB mencionados anteriormente están montados directamente en el molde, que está equipado con núcleos EC, completado con bobinas MC que "viven en simbiosis" con el propio molde, por lo que se pueden disponer tantos pares de núcleos magnéticos MC como moldes haya en uso.

La solución objeto de esta invención se puede aplicar a ambas disposiciones, externa e interna, y consiste en una forma geométrica particular de la superficie frontal de los terminales de los núcleos magnéticos, que ya no están fabricados como los habituales paralelepípedos de acero utilizados normalmente. Esta forma geométrica ha sido diseñada para tener un campo magnético en el interior del molde que pueda garantizar unas condiciones de colada óptimas incluso con los elevados caudales típicos del proceso continuo utilizado en la presente planta (la denominada tecnología ESP = fabricación de flejes sinfín (Endless Strip Production)).

El solicitante ha llevado a cabo pruebas para evaluar la eficacia de la forma geométrica elegida para los terminales del EMB analizando la estabilidad del menisco M del metal fundido, por medio de la denominada "prueba de lámina" (prueba de inmersión) que consiste en sumergir en el molde, en paralelo a las placas anchas CP, una lámina de acero inoxidable con un grosor igual a 0,2 mm. A partir del análisis de las láminas es posible obtener una indicación de la magnitud de la onda generada por la turbulencia del acero líquido introducido en el molde a través de la tobera sumergida SN, midiendo tanto la diferencia W_1 entre los puntos de máximo y mínimo como la diferencia W_2 entre el punto máximo y la altura promedio de la onda, tal como se muestra en la figura 8.

Para que la prueba sea efectiva es importante que el tiempo de inmersión en el molde sea suficiente para permitir la fusión de la lámina pero sin que sea demasiado prolongado, para obtener una imagen realista de la onda que está presente en el momento en el que la lámina se sumerge, es decir, una representación instantánea del menisco. Por medio de las pruebas llevadas a cabo se comprobó que mientras con los terminales planos tradicionales el promedio estadístico de W_1 y W_2 fue respectivamente de 26 y 15 mm, con los terminales que tienen la forma geométrica desarrollada por el solicitante el promedio de W_1 y W_2 se reduce respectivamente a 7 y 3 mm. Por lo tanto, es evidente que la turbulencia en el molde disminuye drásticamente utilizando la forma geométrica objeto de la presente invención.

Por lo tanto, los estudios llevados a cabo por el solicitante han permitido definir una forma geométrica de la superficie frontal de los terminales cerca del molde, que se muestra en las figuras 9 y 10. Indicando con L la anchura de cada terminal y con H la diferencia entre el punto del perfil del terminal más próximo al molde y el más alejado del mismo, la vista en planta de la figura 9 muestra los puntos significativos de paso del perfil en el plano horizontal, que a continuación son interpolados mediante una curva polinómica de sexto orden $a*x^6+b*x^5+c*x^4+d*x^3+e*x^2+f*x+g$.

Los valores de L, H y los coeficientes de la curva de interpolación están comprendidos dentro de los intervalos siguientes:

$$L = 400 \text{ mm} \div 600 \text{ mm};$$

ES 2 658 065 T3

$$H = 300 \text{ mm} \div 450 \text{ mm};$$

$$a = -3,6 \cdot 10^{-12} \div -2,7 \cdot 10^{-13},$$

$$b = 9,5 \cdot 10^{-10} \div 8 \cdot 10^{-9},$$

$$c = -4,3 \cdot 10^{-6} \div -4,8 \cdot 10^{-7},$$

$$d = 1,6 \cdot 10^{-4} \div 1 \cdot 10^{-3},$$

$$e = -9,2 \cdot 10^{-2} \div -2 \cdot 10^{-2},$$

$$f = -1,2 \cdot 10^{-1} \div 8,7 \cdot 10^{-1},$$

$$g = 0.$$

La vista lateral de la figura 10 muestra análogamente el perfil de los terminales en el plano vertical, donde S indica el grosor de los terminales y los puntos significativos de paso del perfil se interpolan de nuevo mediante una curva polinómica de sexto orden $\underline{a} \cdot x^6 + \underline{b} \cdot x^5 + \underline{c} \cdot x^4 + \underline{d} \cdot x^3 + \underline{e} \cdot x^2 + \underline{f} \cdot x + \underline{g}$.

Los valores de S y los coeficientes de la curva de interpolación están comprendidos dentro de los intervalos siguientes:

$$S = 300 \text{ mm} \div 400 \text{ mm};$$

$$\underline{a} = 3,1 \cdot 10^{-12} \div 2,3 \cdot 10^{-11},$$

$$\underline{b} = -2,0 \cdot 10^{-8} \div -3,8 \cdot 10^{-9},$$

$$\underline{c} = 1,5 \cdot 10^{-6} \div 5,7 \cdot 10^{-6},$$

$$\underline{d} = -3,7 \cdot 10^{-4} \div -1,8 \cdot 10^{-4},$$

$$\underline{e} = -3,8 \cdot 10^{-2} \div -1,8 \cdot 10^{-3},$$

$$\underline{f} = -7,8 \cdot 10^{-1} \div 2,6 \cdot 10^{-1}.$$

$$g = 0.$$

Asimismo, para la obtención del mencionado valor del caudal fue necesario diseñar un sistema innovador de refrigeración del molde de tipo dinámico (DMC = refrigeración dinámica del molde (Dynamic Mould Cooling)), mostrado esquemáticamente en la figura 11.

De hecho, a diferencia de la técnica actual que proporciona caudales constantes de agua de refrigeración independientemente de las condiciones de funcionamiento, la DMC es un sistema de gestión para el agua de refrigeración de las placas de cobre del molde 10 que consiste en la variación del caudal de agua de refrigeración en función de la velocidad de colada y del grosor de las propias placas. Esto se lleva a cabo por medio de la utilización de bombas de velocidad variable 11 introducidas en el circuito de refrigeración, además de un intercambiador de calor convencional 12 y una válvula de derivación 13.

Esta gestión del agua de refrigeración puede hacer que la transferencia de calor en el molde sea constante a pesar de los considerables cambios en las condiciones de trabajo, con importantes efectos beneficiosos tanto en la formación en el molde de la primera piel de la pieza inicial como en la vida útil de las placas de cobre. En la línea ESP de las acerías Arvedi en Cremona fue posible obtener, con la ayuda de la DMC, un grosor de la primera piel entre 10 y 15 mm a la salida del molde y una vida de las placas de más de 1.400 coladas. Éste es el resultado de la reducción en la formación de grietas en el cobre, que se refleja positivamente no solamente en la reducción del carácter defectuoso del producto, sino asimismo en la disminución en las paradas de la línea debidas a roturas de la primera piel de la pieza inicial con la consiguiente fuga del acero líquido (el denominado escape).

- 5 Ensayos experimentales realizados en la planta de las acerías Arvedi en Cremona han demostrado que es posible colar, gracias a la forma geométrica innovadora de los terminales de los núcleos magnéticos del freno electromagnético y al sistema innovador de refrigeración dinámica del molde, placas delgadas con un grosor de 100 mm a una velocidad de 6 m/minuto con un caudal mayor que 7,1 toneladas/minuto, haciendo por lo tanto posible producir, con una única línea integrada de colada continua y laminación, una cantidad de bobinas laminadas en caliente superior a 4 millones de toneladas/año con un consumo de energía específico promedio menor que 135 kWh/t. Esto ha posibilitado compactar la fábrica objeto de la presente invención, de tal modo que se realiza íntegramente en espacios de 500.000-700.000 m².
- 10 La presente invención puede ser aplicada asimismo sustituyendo el proceso sinfín según las explicaciones de la patente EP 1868748 por el de la patente EP 1558408, que comprende una etapa de desbastado y acabado, con un calentamiento intermedio entre el laminador de desbastado y el laminador de acabado, en lugar de una única planta de laminación. Además, se puede aplicar asimismo a plantas de ciclo integral, es decir con la fusión de mineral y carbón en un alto horno, aplicando las mejores tecnologías disponibles para minimizar el impacto ambiental.
- 15

REIVINDICACIONES

1. Planta integrada con muy bajo impacto ambiental para fabricar bobinas de fleje de acero laminado en caliente y laminado en frío, que comprende una sección de fundición (SF) para producir acero líquido conectada directamente a una sección de colada continua y laminación en caliente (CCHR) con bobinado final del fleje en bobinas, estando a su vez conectada esta última sección (CCHR) a una sección de laminación en frío (PCR) que está en conexión con una sección de acabado (CF), comprendiendo además dicha planta una sección de corte longitudinal (SL) adecuada para recibir bobinas de cada una de dichas tres secciones de trabajo (CCHR, PCR, CF), una sección de trituración de vehículos (AS) adecuada para producir chatarra metálica adaptada para ser utilizada como primera materia en dicha sección de fundición (SF), una sección de incineración de residuos de la trituración de vehículos (ASRB) adecuada para generar corriente para alimentar la planta, y una sección de tratamiento (ST) de la escoria de fundición (FS) adecuada para reciclar la escoria y recuperar calor de la misma.
2. Planta, según la reivindicación 1, **caracterizada por que** la sección de fundición (SF) incluye hornos de fusión de arco eléctrico (EAF), hornos de cuchara (LF), hornos de descarburación de oxígeno al vacío (VOD) y un sistema de desgasificación al vacío (RH).
3. Planta, según la reivindicación 1 ó 2, **caracterizada por que** la sección de colada continua y laminación en caliente (CCHR) incluye un dispositivo para la colada continua de desbastes delgadas con reducción con núcleo líquido (LCR) que alimenta directamente un tren de laminación con una única serie de cajas adecuadas para llevar a cabo el desbastado y el acabado del desbaste delgado hasta que ésta es reducida a un fleje con un grosor comprendido entre 0,8 y 25 mm.
4. Planta, según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizada por que** la sección de laminación en frío (PCR) incluye líneas de decapado y laminación en frío con diferentes trenes de laminación adecuados para reducir el fleje de acero laminado en caliente a un fleje laminado en frío con un grosor comprendido entre 0,2 y 2 mm.
5. Planta, según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizada por que** la sección de acabado (CF) incluye líneas de galvanizado por inmersión en caliente (HDGL), líneas de galvanizado por inmersión en caliente y de recubrimiento (HDGCL) y líneas de recocido (AL).
6. Planta, según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizada por que** la sección de tratamiento (ST) de la escoria de fundición incluye una cubeta de enfriamiento (FS) de la escoria compuesta de un depósito interno (1), un depósito externo impermeable (2) y una capa de material de aislamiento térmico (3) dispuesta entre dichos dos depósitos (1, 2), teniendo el depósito interno (1) una capa inferior de desgaste (4) adecuada para proteger la estructura del propio depósito por cuyo interior pasan tuberías de un sistema de recuperación de calor (HRS) que comprende medios para conmutar circuitos únicos de refrigeración en configuración en serie/paralelo con el fin de adaptar los caudales/temperaturas a las necesidades de los usuarios del calor en base a órdenes procedentes de un sistema de control automático.
7. Planta, según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizada por que** por lo menos la sección de fundición (SF) y la sección de tratamiento (ST) de la escoria de fundición (FS), preferentemente asimismo otras secciones, están contenidas en naves construidas con paneles insonorizados adecuados para limitar la propagación de ruido y para contener el posible lanzamiento de materiales, teniendo dichas naves una ligera depresión para trasladar cualquier emisión a un sistema de tratamiento centralizado de gases a través de un sistema de captura de emisiones (ECS).
8. Planta, según cualquier reivindicación anterior, **caracterizada por que** los paneles de insonorización son paneles metálicos aislados con lana mineral de alta densidad a 80-100 kg/m³, consistiendo preferentemente cada panel en una lámina externa (5) con una sección transversal en forma de C adecuada para soportar una lámina interna (6) que tiene una superficie microperforada detrás de la cual hay una lámina flotante (7) de atenuación del sonido suspendida elásticamente entre dos capas (8, 8') de dicho aislamiento de lana mineral de alta densidad, estando asimismo dispuesta preferentemente una hoja protectora (9) entre dicha lámina microperforada (6) y la capa interna (8) de lana mineral.
9. Planta, según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizada por que** las secciones incluyen plataformas ergonómicas e insonorizadas conectadas a los dispositivos de la planta para permitir a los operarios supervisar todos los procesos de producción sin estar en contacto directo con el acero que se está elaborando.
10. Planta, según cualquiera de las reivindicaciones 3 a 9, en la que el dispositivo de colada continua incluye un freno electromagnético (EMB) dispuesto a lo largo de dos lados largos enfrentados de un molde, estando dicho freno electromagnético (EMB) **caracterizado por** la forma geométrica de la superficie frontal de los terminales de los núcleos magnéticos (MC) en los que están enrolladas bobinas eléctricas (EC) que generan el campo magnético, proporcionando dicha forma geométrica un perfil en el plano horizontal definido por una longitud (L) del terminal, mediante una diferencia (H) entre el punto de dicho perfil más próximo al molde y el punto más alejado del molde, y

5 por puntos de paso significativos interpolados por medio de una curva polinómica de sexto orden $a*x^6+b*x^5+c*x^4+d*x^3+e*x^2+f*x+g$, estando los valores de la longitud (L), de la diferencia (H) en distancia desde el molde y de los coeficientes de dicha curva polinómica, comprendidos dentro de los intervalos siguientes: L = 400 mm ÷ 600 mm; H = 300 mm ÷ 450 mm; a = $-3,6*10^{-12}$ ÷ $-2,7*10^{-13}$; b = $9,5*10^{-10}$ ÷ $8*10^{-9}$; c = $-43*10^{-6}$ ÷ $-4,8*10^{-7}$; d = $16*10^{-4}$ ÷ $1*10^{-3}$; e = $-9,2*10^{-2}$ ÷ $-2*10^{-2}$; f = $-1,2*10^{-1}$ ÷ $8,7*10^{-1}$; g = 0.

10 11. Planta, según la reivindicación anterior, **caracterizada por que** los terminales de los núcleos magnéticos (MC) tienen una forma geométrica de su superficie frontal que proporciona un perfil en el plano vertical definido por un grosor (S) del terminal, mediante una diferencia (H) entre el punto de dicho perfil más próximo al molde y el punto más alejado del molde, y por puntos de paso significativos interpolados por medio de una curva polinómica de sexto orden $\underline{a}*x^6+\underline{b}*x^5+\underline{c}*x^4+\underline{d}*x^3+\underline{e}*x^2+\underline{f}*x+\underline{g}$, estando los valores del grosor (S), de la diferencia (H) en la distancia desde el molde y de los coeficientes de dicha curva polinómica comprendidos dentro de los intervalos siguientes: S = 300 mm ÷ 400 mm; H = 300 mm ÷ 450 mm; \underline{a} = $3,1*10^{-12}$ ÷ $2,3*10^{-11}$; \underline{b} = $-2,0*10^{-8}$ ÷ $-3,8*10^{-9}$; \underline{c} = $1,5*10^{-6}$ ÷ $5,7*10^{-6}$; \underline{d} = $-37*10^{-4}$ ÷ $-1,8*10^{-4}$; \underline{e} = $-38*10^{-2}$ ÷ $-1,8*10^{-3}$; \underline{f} = $-7,8*10^{-1}$ ÷ $2,6*10^{-1}$; \underline{g} = 0.

15 12. Planta, según cualquiera de las reivindicaciones 3 a 11, en la que el dispositivo de colada continua incluye un sistema para gestionar el agua de refrigeración de las placas de cobre (CP) anchas y estrechas que componen un molde (10), **caracterizado por que** dicho sistema, mediante la utilización de bombas de velocidad variable (11) situadas en el circuito de refrigeración, es adecuado para realizar una variación del caudal (P) del agua de refrigeración, dependiendo de la velocidad de colada del acero en dicho molde (10) y del grosor de dichas placas de cobre (CP).

20

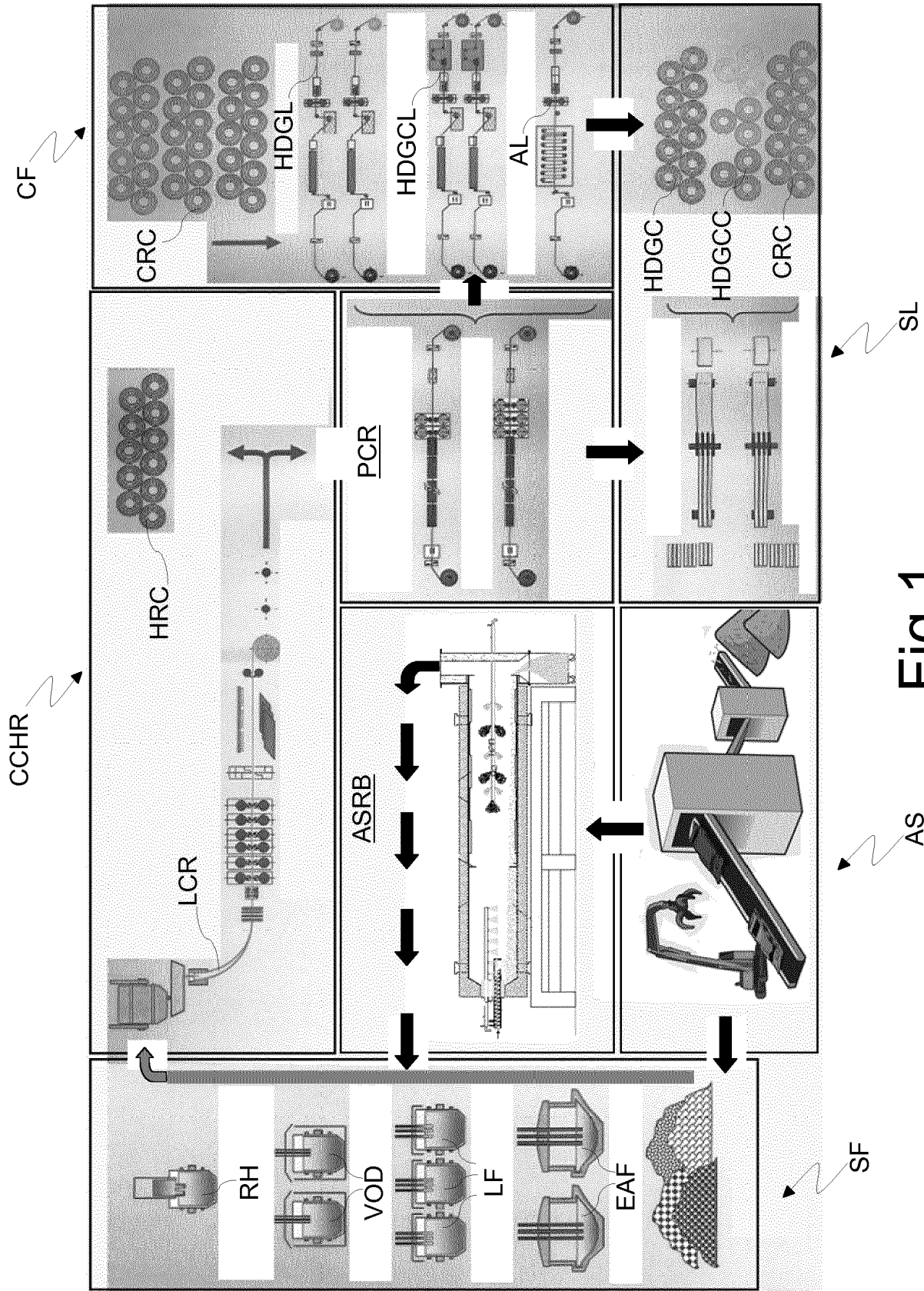


Fig.1

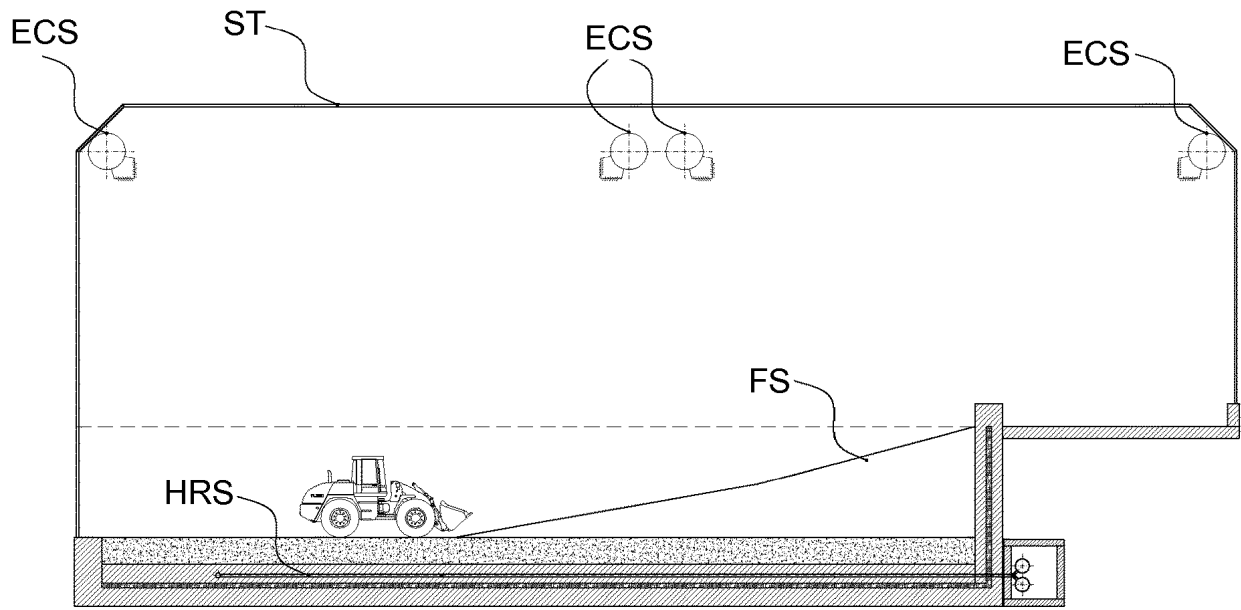


Fig.2

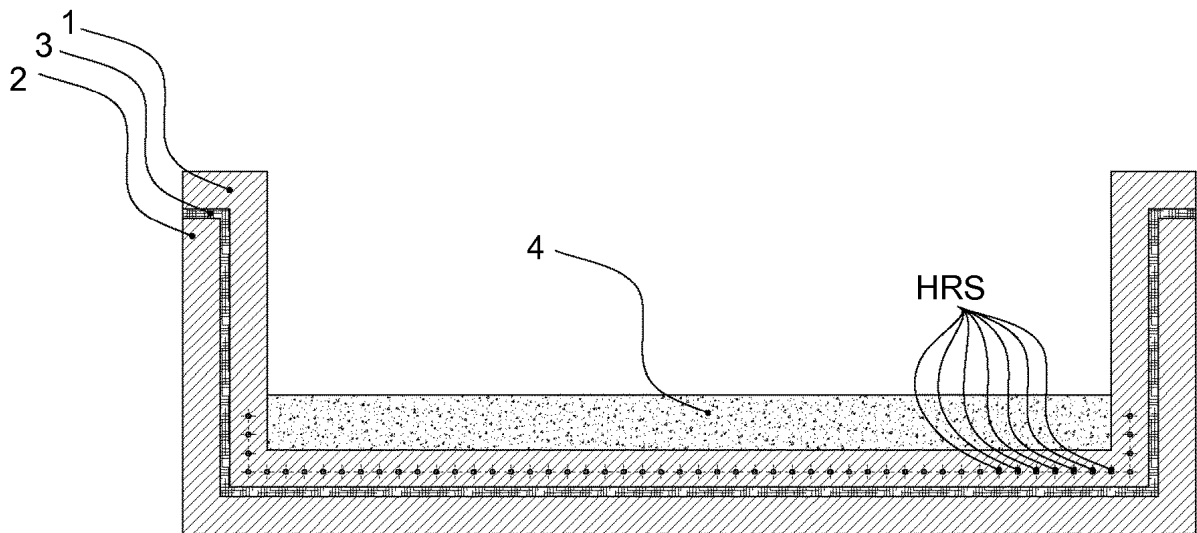


Fig.3

Fig.4

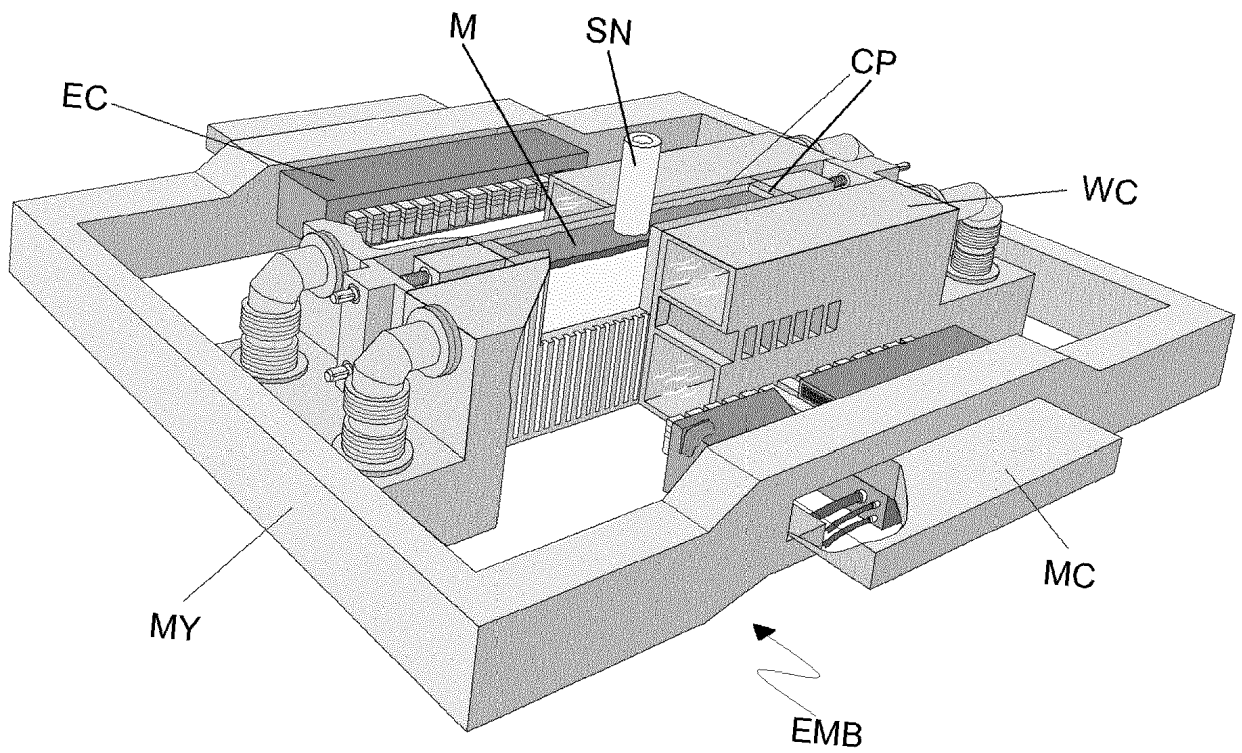
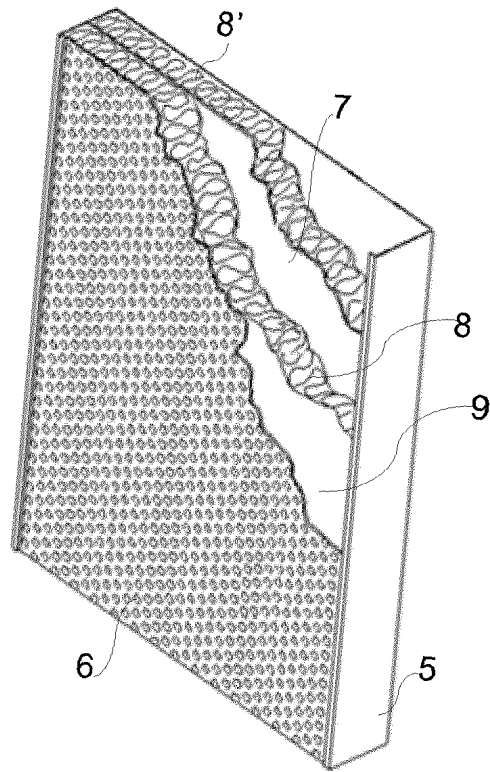


Fig.5

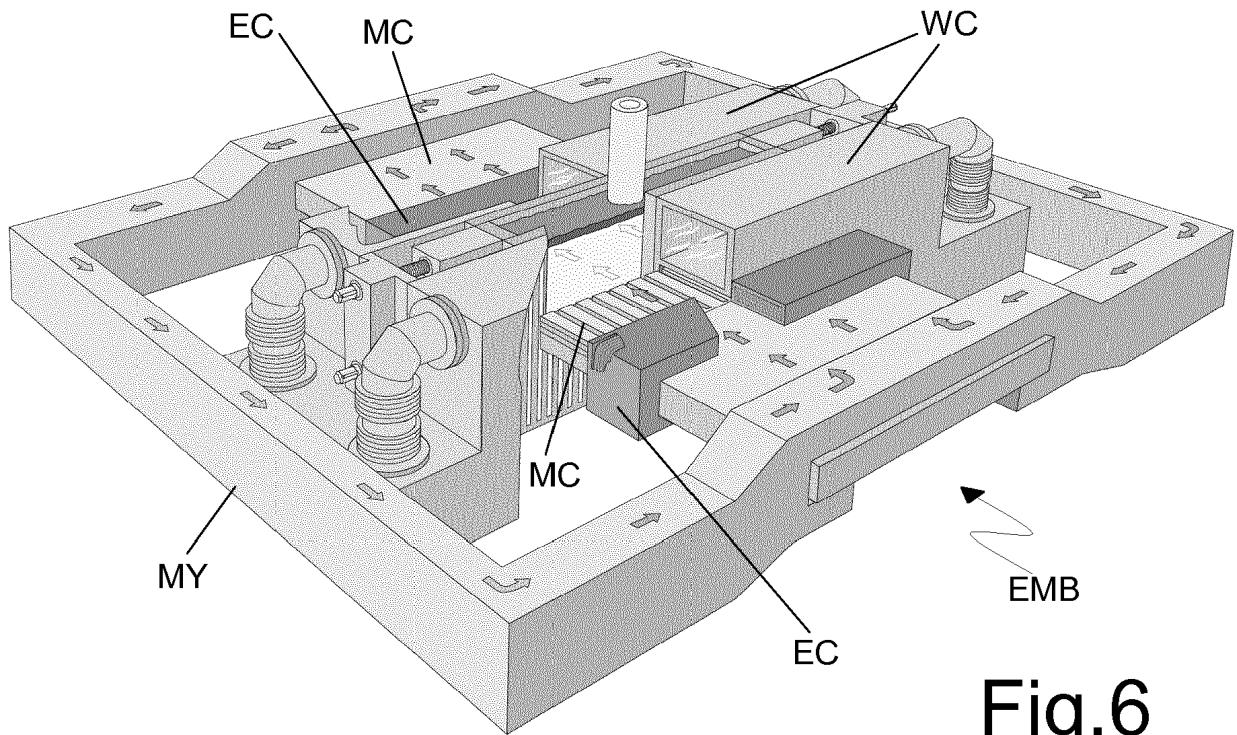


Fig.6

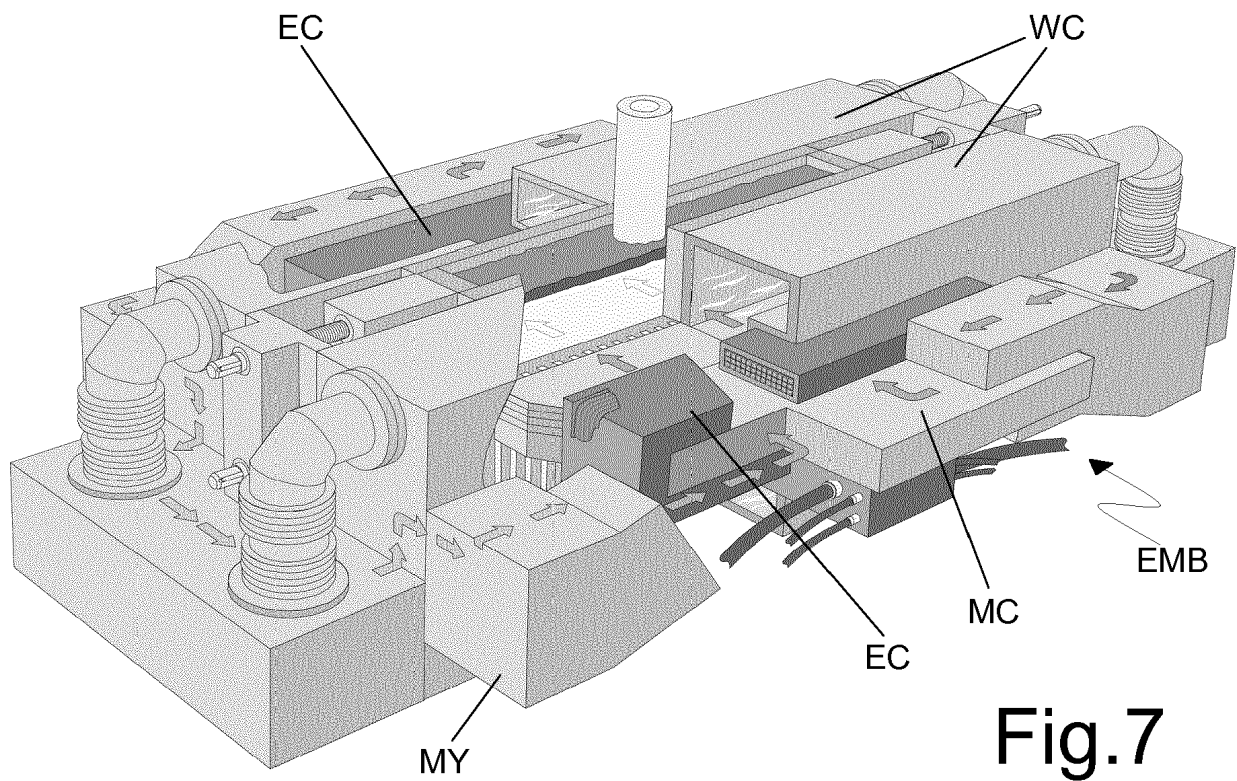


Fig.7

Fig.8

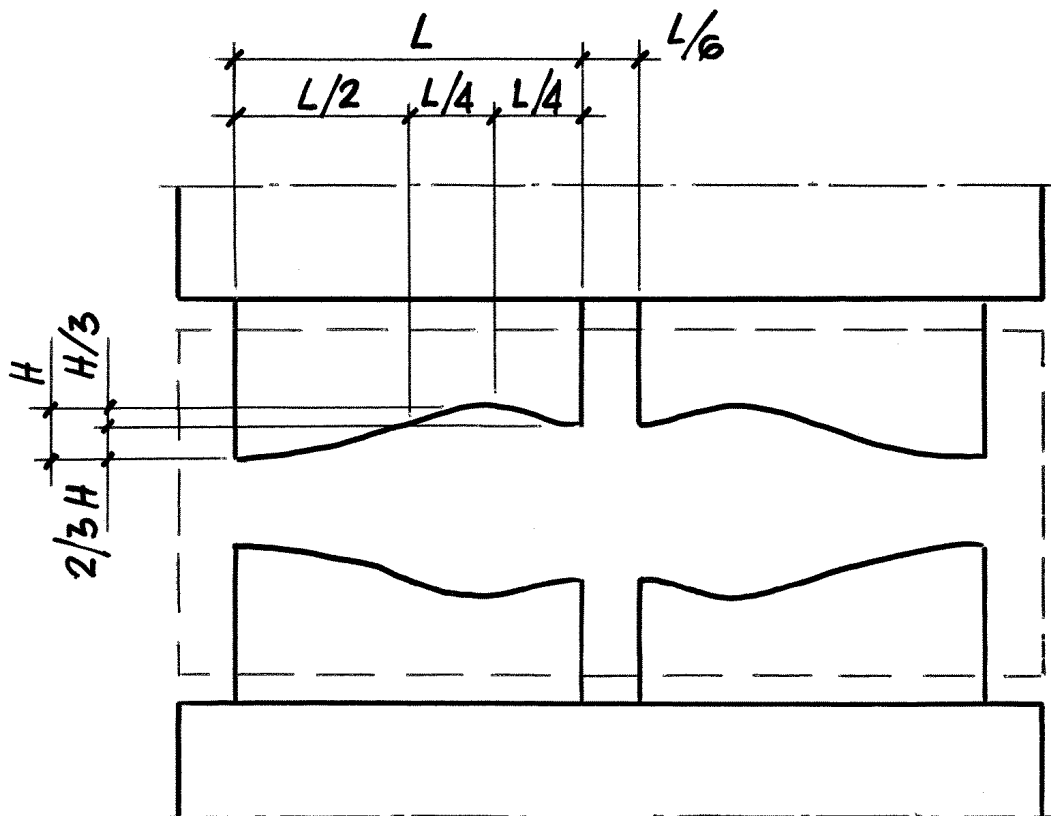
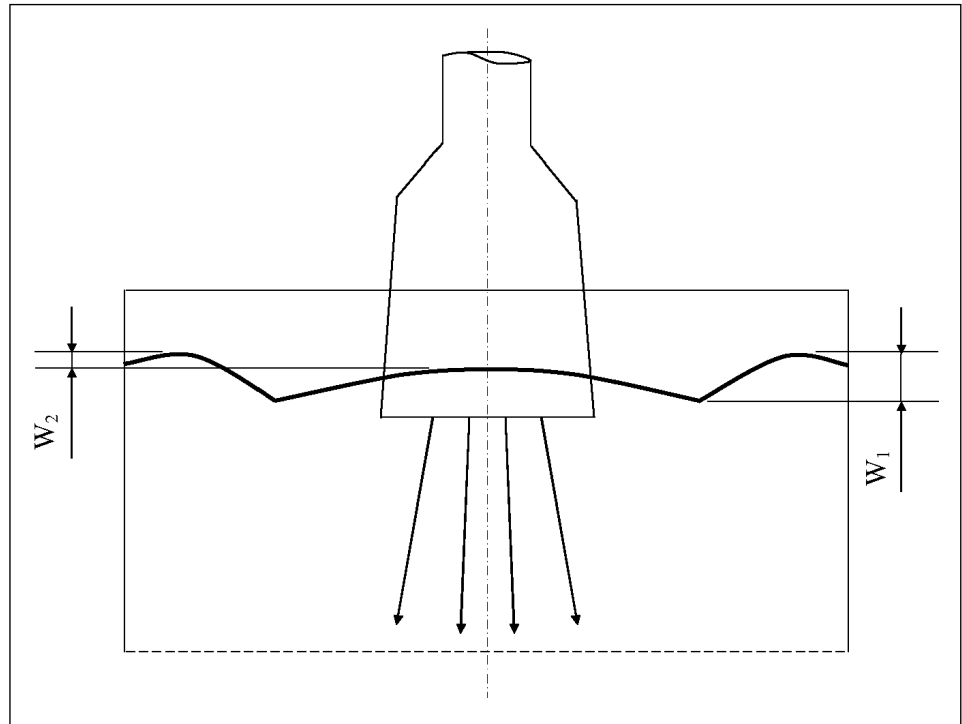


Fig.9

Fig.10

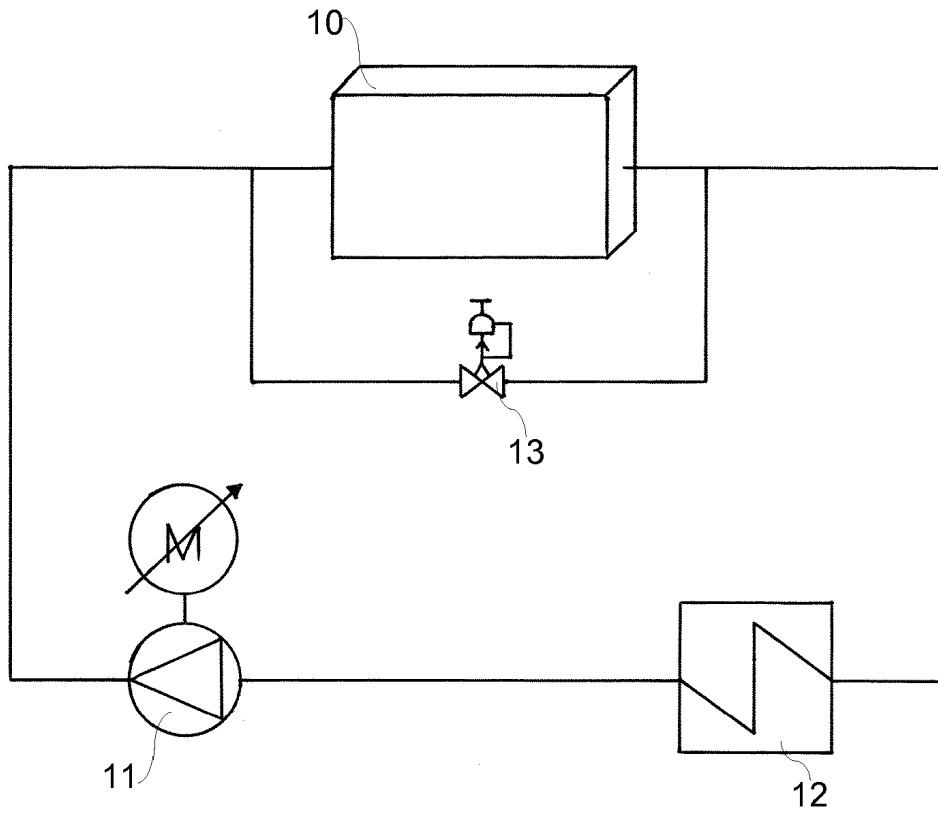
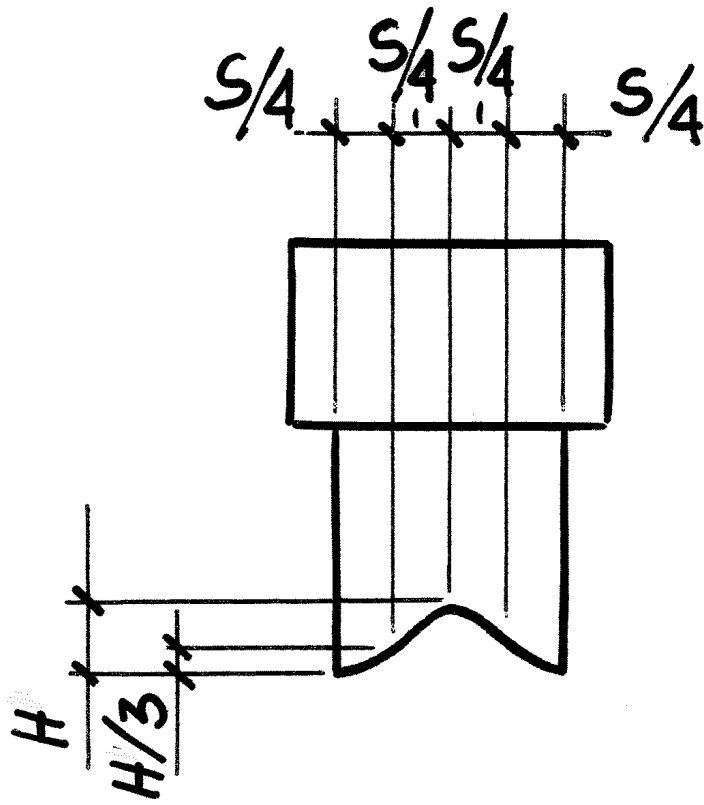


Fig.11