

Valmet

Serie de documentos técnicos

Pruebas no destructivas: ¿Por qué, cuándo, qué y cómo?

Resumen ejecutivo

Las pruebas no destructivas (PND) son la inspección de defectos en los materiales sin dañar el objeto que se inspecciona. Como método de prueba industrial, las PND ofrecen una forma económica de realizar las pruebas a la vez que se protege el uso del objeto para su propósito de diseño.

La posibilidad de inspeccionar las piezas fundidas, las soldaduras, el espesor de paredes y las cubiertas de cilindros de forma precisa y exhaustiva es fundamental; y es aún más importante cuando la máquina ha estado en uso durante varios años, incluso con posibles cambios sobre el bastidor original, y bajo condiciones de operación que actualmente someten al equipo a mayores esfuerzos de los que el diseño original permitía.

Las PND utilizan varios métodos, incluida la inspección visual, el ultrasonido, las tintas penetrantes, las partículas magnéticas, las emisiones acústicas, las corrientes electromagnéticas y las radiografías. Las herramientas más comúnmente utilizadas incluyen: ojos de expertos, micrómetros de exteriores, medidores ultrasónicos de espesor de pared y esmeriladoras portátiles, además de las herramientas específicas empleadas en los métodos de prueba más complejos. Este documento examina el proceso de PND según lo realiza el personal calificado de Valmet, y muestra ejemplos de los problemas encontrados y de las medidas tomadas para resolver los problemas.

Las pruebas no destructivas, también conocidas como ensayos no destructivos y por sus siglas PND o END, son las pruebas realizadas a los materiales para identificar defectos pero sin dañar el objeto que se verifica. Como método de prueba industrial, las PND ofrecen una forma económica de realizar las pruebas a la vez que se protege el uso del objeto para su propósito de diseño.

¿Por qué utilizar las pruebas no destructivas?

Saber cuándo y cómo aplicar las metodologías de las PND es importante. En la fabricación de máquinas de papel gigantes de alta velocidad, la capacidad de inspeccionar las piezas fundidas, las soldaduras, el espesor de paredes y las cubiertas de cilindros de forma precisa y exhaustiva es una necesidad crítica. Esto es aún más importante cuando la máquina ha estado en uso durante varios años, incluso con posibles cambios sobre el bastidor original, y bajo condiciones de operación que ahora someten al equipo a mayores esfuerzos de los que el diseño original permitía.

Los métodos de las pruebas no destructivas se han utilizado desde hace siglos, y la forma más sencilla, la inspección visual, es la más antigua. Otros métodos antiguos de las PND incluyen el pesado, tal vez para determinar si un objeto era de oro sólido y no de algunos metales más económicos, o una simple prueba de fugas para averiguar si un recipiente contendría un fluido eficazmente. Ninguno de estos métodos de prueba daña el objeto que se está verificando.



Figura 1. Para las fábricas modernas con operación continua y cuyos procesos no pueden ser interrumpidos, las PND son una solución económica.

Desafortunadamente, con los modernos equipos complejos y enormes que ocupan el espacio de un campo de fútbol, los métodos antiguos ya no permiten la medición exacta en periodos relativamente cortos, como durante el paro de una máquina. Tampoco pueden medir las cosas que el ojo humano, con ayuda o no, no puede detectar. Acceder a todos los sitios de la máquina para inspeccionarlos puede ser imposible. Desmontar la máquina para realizar las pruebas es rara vez una opción económicamente viable. En este momento, se requieren métodos más modernos. Es entonces cuando las pruebas no destructivas constituyen una importante herramienta de mantenimiento.

¿Cuándo se realizan las pruebas no destructivas?

Una razón común por la que los fabricantes de papel realizan las pruebas no destructivas es cuando los operadores o el personal de mantenimiento se preocupan por la oxidación, la descamación o la corrosión de la superficie y desean saber si la máquina todavía es adecuada para su aplicación actual. En este caso, se debe medir el espesor de pared actual y compararlo con los planos originales.

Por ejemplo, en la sección anterior si cae óxido en la tela, probablemente se rompa la hoja y esto podría dañar los rodillos de la prensa. Por consiguiente, si la hoja se rompe en dicha sección y la fábrica cree que es a consecuencia de la oxidación, necesitarán a un experto en PND que vaya a su planta a determinar si las vigas transversales oxidadas son sólidas en términos estructurales.

Una segunda razón para realizar las pruebas no destructivas in situ es la vibración en la línea de máquinas. La vibración es un problema muy complejo que requiere que un inspector experto en vibraciones determine las posibles causas. Las PND pueden ser muy útiles para identificar los lugares de la máquina donde se puede estar generando la vibración. En muchos casos, un tornillo oxidado, una arandela corroída (**Figura 12**), o una superficie de contacto que no sea plana (**Figura 14**) es lo que produce la vibración.

Otro uso típico de las pruebas no destructivas es cuando el departamento de producción desea hacer funcionar la máquina más allá de sus especificaciones de diseño original. Probablemente desean que la máquina trabaje más rápido de lo indicado en el diseño original. Otras posibilidades incluyen un aumento en la carga o algún otro incremento proyectado en los esfuerzos del bastidor. En estos casos, además de las PND, Valmet también recomienda un análisis con el Método de los elementos finitos (MEF) y, probablemente, una auditoría in situ de la máquina. Esto ayudaría a asegurar que todas las placas críticas están dentro de las dimensiones correctas para soportar el aumento de velocidad, carga, etc., y que todavía están dentro de las especificaciones originales del fabricante de equipo original. La coordinación de las pruebas no destructivas y del análisis por el método de los elementos finitos le permite al personal de la fábrica determinar si es posible hacer funcionar la máquina a una velocidad mayor de forma segura y económica.

¿Cuáles son los métodos de las pruebas no destructivas?

Como se mencionó anteriormente, la inspección visual y las pruebas de fugas son métodos altamente eficaces y sencillos de las PND. Además, los equipos y materiales modernos posibilitan la aplicación de estos otros métodos de prueba más precisos y rápidos:

- Ultrasonidos
- Tintas penetrantes
- Partículas magnéticas
- Emisiones acústicas
- Corrientes Foucault (electromagnéticas)
- Radiografías

Los métodos más utilizados por Valmet son el visual, el ultrasónico y el de tintas penetrantes, mientras que el de partículas magnéticas y el de emisiones acústicas solo se emplean en circunstancias especiales.

Inspección visual

Los expertos en PND de Valmet están capacitados para identificar visualmente muchos tipos de problemas (**Figura 2**), incluida la corrosión de superficie, las incrustaciones (pintura desprendiéndose, superficie áspera y sucia) y señales de deformación del revestimiento (abultamientos visibles mirando en línea recta o colocando una regla sobre la placa frontal de la caja de entrada). Es necesario realizar pruebas no solo en las superficies de hierro fundido sino también en las de acero inoxidable. Si las piezas de acero inoxidable no se mantienen limpias, con el tiempo, en la superficie se podrán ver picaduras y corrosión. Afortunadamente, el acero inoxidable con corrosión solo requiere acondicionamiento y limpieza de la superficie para renovarlo.

Otros aspectos importantes que deben observarse durante una inspección visual incluyen la verificación de arandelas faltantes u oxidadas (**Figura 12**), y la condición de los pernos. Los pernos de acero dulce se delaminan con el tiempo. También debe ponerse atención a las piezas de la máquina que solo se usan en circunstancias especiales, como por ejemplo, cambiar los revestimientos textiles de la máquina. Las superficies de acabado de los bloques desmontables puede no encajar adecuadamente cuando se instalan (**Figura 14**), lo que ocasiona vibración. Las vigas en voladizo tienen barras que van hacia los soportes. Estas barras generalmente son de acero dulce y pueden corroerse. Esto puede ser catastrófico porque al cambiar los textiles, estas barras son el único soporte de la sección.

Herramientas utilizadas

Además de los ojos del experto, la siguiente herramienta más importante es el micrómetro de exteriores (**Figura 3**). Mientras que el técnico tenga acceso a ambas caras de la superficie, se podrá medir su espesor. Esto puede realizarse en un borde o en algún orificio que quede a la mano. El micrómetro se utiliza habitualmente para medir el espesor de las costillas visibles. Sin embargo, algunas veces puede hacerse algo tan sencillo como quitar un perno y verificar el espesor de una viga en el punto del perno.

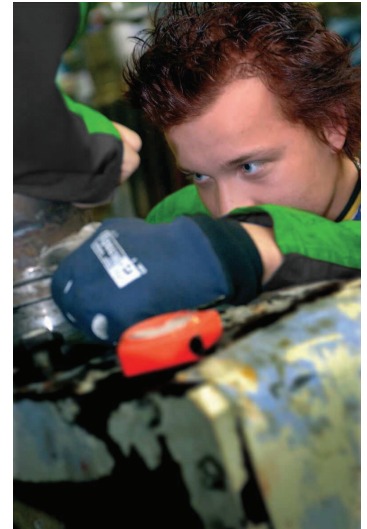


Figura 2. Los expertos en las PND de Valmet tienen capacitación en la inspección visual y en los métodos asistidos por equipo para realizar las pruebas no destructivas.

En el caso del acero dulce, se utiliza un calibrador ultrasónico de espesor de pared (**Figura 5**). Éste mide el espesor de pared sin necesidad de cortar la viga. Primero, el verificador debe esmerilar un área de 0.64 cm² de forma que quede lisa y brillante. Normalmente llevará consigo una esmeriladora portátil (**Figura 4**) para este fin. En una superficie pintada y lisa, el calibrador de espesor funcionará bien, pero probablemente de todas formas se requiera lijar a mano para que la superficie quede completamente lisa y el calibrador no oscile de adelante hacia atrás, produciendo una lectura incorrecta.

Muchas veces el revestimiento puede verse BIEN, ocultando algún problema en el bastidor interior. Generalmente esto es lo que hace que el revestimiento presente abultamientos, es decir, una regla se bambolea sobre el revestimiento. Para el revestimiento que muestra señales de flexión, puede ser necesario que el personal de mantenimiento de la fábrica use las herramientas necesarias para recortar un pedazo del revestimiento. Esto permitirá que el técnico de PND mida el espesor de la placa de acero dulce del bastidor interno. Posteriormente, el revestimiento debe restaurarse de forma que quede impermeable.

Pruebas con partículas magnéticas

Este método para determinar las discontinuidades superficiales ha existido desde 1868, cuando se utilizaba para inspeccionar cañones empleando una aguja de brújula. Solo puede utilizarse en compuestos ferromagnéticos y utiliza campos magnéticos y limaduras de hierro para detectar los defectos de las piezas. Las pruebas con partículas magnéticas se utilizan habitualmente para inspeccionar el estado de las piezas fundidas, de las piezas forjadas y de las soldaduras. La estructura de hierro se magnetiza y se esparcen partículas de hierro sobre la estructura. Normalmente, las partículas solo se acumulan en el norte y en el sur magnético de la estructura. Si se acumulan en otros lugares, existe una discontinuidad en el campo magnético que puede indicar la existencia de una fractura en la estructura.

Prueba ultrasónica

El método ultrasónico utiliza equipo (**Figura 5**) que genera un pulso eléctrico que, a su vez, envía un pulso de sonido de alta frecuencia a través de la estructura. Si este pulso de sonido llega a una fractura o a un vacío en la estructura, o al otro lado de la pared, cuando se utiliza para medir el espesor, parte del pulso se reflejará. Estas señales reflejadas se vuelven a convertir en señales eléctricas con un transductor y los resultados se muestran en una pantalla. Los resultados son inmediatos y el técnico solo necesita tener acceso a un lado de la estructura.

Pruebas con líquidos penetrantes

Este método utiliza la capilaridad para detectar las discontinuidades, y se usa comúnmente en las pruebas de fatiga para encontrar fisuras en las cubiertas de cilindros. Los líquidos penetrantes se han utilizado por lo menos desde finales del siglo XIX, para actividades como la detección de fisuras en cerámica y en las ruedas locomotoras de ferrocarriles. Desde ese entonces, se han logrado avances en los materiales de los líquidos penetrantes que hacen que los resultados sean más fáciles de ver. En esencia, se aplica un líquido a la superficie y penetra en los defectos de la superficie.



Figura 3. Cuando se tiene acceso a las dos caras de una superficie, se usa un micrómetro de exteriores.



Figura 4. Otra herramienta fundamental es la esmeriladora portátil, para preparar una superficie y realizar una medición precisa.



Figura 5. Cuando solo se tiene acceso a un lado de la estructura, se utiliza un calibrador ultrasónico de espesor de pared.

Después de un tiempo de espera a fin de que haya suficiente penetración, el exceso del líquido penetrante se elimina. A continuación, se aplica un revelador a la superficie con el fin de atraer el resto del líquido penetrante en las fisuras a la superficie. El líquido penetrante normalmente es de un color de alto contraste, por ejemplo rojo, o es de una tinta fluorescente UV que se visualizará con luz negra (**Figura 6**). A pesar de que este método es más lento que el método con ultrasonido, el técnico puede apreciar muy claramente los resultados.

¿Cómo realiza Valmet una prueba no destructiva?

Supongamos que su fábrica solicita a Valmet que le haga una visita para realizar un análisis con PND en su máquina. Por lo general, habrá uno o más problemas específicos que requieran de un análisis con pruebas no destructivas. Estos problemas normalmente estarán limitados a una sección particular de la máquina. Valmet sigue un plan de acción directo, que incluye la preparación, la visita in situ y el informe.

Preparación: ¿Qué sucede antes de una visita?

Durante la llamada inicial, Valmet obtendrá la mayor cantidad de información posible sobre el problema, las posibles áreas problemáticas y los posibles periodos de tiempo para realizar la visita. El técnico de PND de Valmet usará los planos del fabricante de equipo original y localizará las piezas que se verificarán. Realizará un plan de PND (**Figura 7**) en los planos, numerando todos los lugares que se van a verificar. Posteriormente se prepara una tabla (**Figura 8**) en la que se muestra cada número de ubicación, el espesor original de la placa y el espesor medido de la placa en las columnas (y probablemente el número de pieza para hacer referencia al plano). Normalmente, este plan de PND no se envía a la planta anticipadamente puesto que el acceso a las zonas generalmente no es un problema.

¿Qué sucede en la fábrica durante la visita?

El análisis con PND generalmente se realiza durante un paro de la máquina, puesto que el proceso de las PND por lo general incluye trabajos de esmerilado. De este modo, no entrará material en el proceso (tejidos, etc.) durante el desarrollo de la prueba.

El experto en PND llega a la fábrica y revisa el plan (**Figura 7**) con el personal de la fábrica. A continuación, realiza una visita guiada a la sección de la máquina para ver si hay alguna otra área que requiera verificarse. Por ejemplo, si el técnico de PND está revisando una caja de entrada, probablemente haya una pantalla de protección, y el personal de la fábrica quizá no haya notado que debajo de dicha pantalla hay más corrosión. Entonces le pedirá al personal de mantenimiento de la fábrica que retire las pantallas de protección para que pueda verificar esos lugares. También este es el momento cuando el técnico de PND puede descubrir que no hay acceso a ciertos lugares, y probablemente necesite cambiar las ubicaciones o añadir otros puntos de más fácil acceso.

Posteriormente, uno a uno, el técnico de Valmet tomará mediciones y comparará el espesor de pared con los planos originales y observará cuánto queda del espesor de diseño del material. En cada ubicación, esmerilará un área plana, medirá el espesor, registrará los datos en su tabla (**Figura 8**) y fotografiará la ubicación.

Si queda menos del 90 % del espesor, recomendará cambios en dicha área. Algunas veces, el espesor medido puede ser, de hecho, mayor que el espesor de diseño. Esto es porque una soldadura o el espesor de la superficie pueden no haberse rebajado completamente al espesor exacto de diseño.

Después de recolectar todos los datos, preparará los resultados preliminares y las recomendaciones inmediatas. Posteriormente se reunirá con el personal de la fábrica y hablará sobre los resultados.

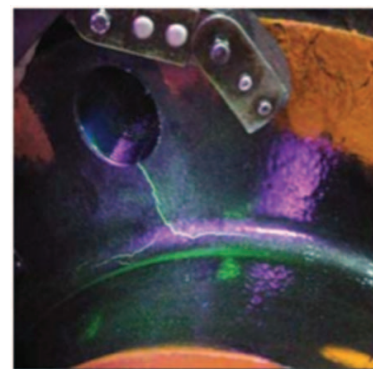


Figura 6. Algunos líquidos penetrantes presentan fluorescencia a la luz ultravioleta, lo que hace que sea más fácil ver las fisuras.

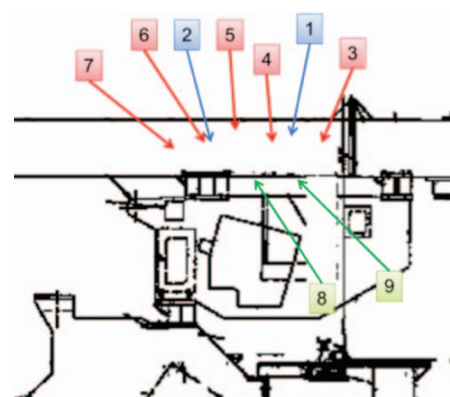


Figura 7. El plan PND comienza con los planos originales y muestra todos los lugares en los que se realizarán mediciones. En este ejemplo, el color indica el lugar de la lectura. El azul y el rojo son para las mediciones fuera y dentro del bastidor, respectivamente, y las lecturas que se tomarán en la parte superior, inferior o en los costados del bastidor se muestran en color verde.

Número de ubicación	Plano de instalación	Descripción	Lugar de la medición	Espesor original	Espesor medido	Pérdida de material
1	4-0907-001	Bastidor de la prensa, viga principal del lado conductor	Bastidor exterior	1.000	0.917	8.3 %
2	4-0907-001	Bastidor de la prensa, viga principal del lado conductor	Bastidor exterior	1.000	0.863	13.7 %
3	4-0907-001	Bastidor de la prensa, viga principal del lado conductor	Bastidor interior	1.000	0.955	4.5 %
4	4-0907-001	Bastidor de la prensa, viga principal del lado conductor	Bastidor interior	1.000	1.001	0.0 %
5	4-0907-001	Bastidor de la prensa, viga principal del lado conductor	Bastidor interior	1.000	0.844	15.6 %
6	4-0907-001	Bastidor de la prensa, viga principal del lado conductor	Bastidor interior	1.000	0.620	38.0 %
7	4-0907-001	Bastidor de la prensa, viga principal del lado conductor	Bastidor interior	1.000	0.420	58.0 %
8	4-0907-001	Bastidor de la prensa, viga principal del lado conductor	Parte inferior de la viga	1.750	1.331	23.9 %
9	4-0907-001	Bastidor de la prensa, viga principal del lado conductor	Parte inferior de la viga	1.750	1.283	26.7 %

Figura 8. Una tabla de localización de PND, como la que se muestra arriba, es un elemento importante del informe final. Es una guía que ayuda al personal de mantenimiento para la selección y planificación de futuras reparaciones. En el ejemplo anterior, se ha producido una importante pérdida de espesor, y el bastidor tendrá que ser reparado o remplazado para recuperar la integridad estructural.

Generalmente, un técnico de diagnóstico de PND de Valmet puede cubrir meticulosamente una sección (caja de entrada, formador, prensa, etc.) en un solo paro de 8 horas. Si la fábrica requiere que se revisen más secciones en un paro, Valmet puede llevar más ingenieros en PND para cubrirlas simultáneamente.

Informes: ¿Qué sucede después de la visita?

Al regresar a las oficinas de Valmet, el ingeniero prepara un informe formal completo, incluido el plan de localización de PND (Figura 7) y la tabla (Figura 8), y las comunica a los departamentos de reparación, reconstrucción y partes de repuesto de Valmet según corresponda. Se envía el informe a la fábrica, incluidas las recomendaciones completas para todas las áreas en que se encontraron problemas. Posteriormente se programa una reunión o llamada de conferencia para revisar el informe, hablar sobre los problemas encontrados y determinar los planes de acción.

¿Qué medidas pueden tomarse después de las pruebas no destructivas?

Si el problema es una pieza con alguna superficie oxidada, cualquier tipo de placa de acero dulce o una pieza de hierro fundido, la mejor solución puede ser desbastar hasta dejar el metal desnudo y posteriormente imprimir y pintar (Figura 9).

Si existe una pérdida importante de material del espesor de pared de diseño (Figura 10), la corrosión debe primero desbastarse para detener el proceso de corrosión. Probablemente la pieza requiera ser remplazada o pueda repararse mediante la adición de placas para lograr el mismo o un mayor espesor que el de la especificación de diseño.

También existe el problema del revestimiento dañado que expone a la humedad las placas de hierro dulce debajo del revestimiento. Probablemente se requiera primero reparar el hierro dulce en el interior y, posteriormente, reparar o remplazar el revestimiento.



Figura 9. Existe corrosión en la parte exterior e inferior de esta viga principal del lado conductor y presenta evidentes señales de delaminado que ha sido reparado retirando el material suelto y pintando nuevamente. Sin embargo, la pérdida de espesor es mínima.



Figura 10. El material en esta área es muy delgado, mucho menor que el 90 % de espesor original de 1", y requiere placas soldadas.



Figura 11. Estas áreas están llenas de agua estancada. Al realizar los orificios de drenado se evitará que se acumule agua en el bastidor en el futuro.

Una solución común para las piezas de transición problemáticas en las cajas de entrada y en las costillas expuestas en las secciones de prensado es actualizar el acero dulce a acero inoxidable.

Esta es una reparación de una sola vez. Cortar la placa de acero dulce y luego reemplazarla con acero inoxidable no será suficiente. En muchos casos, el acero dulce mantiene la pieza a escuadra y centrada, por lo que, de cortarse, el bastidor podría quedar pandeado. Básicamente, puede hacerse una laminación soldando una placa de acero inoxidable a la costilla de acero dulce y así la placa de acero inoxidable soportará la carga.



Figura 12. En esta fábrica había arandelas de bloqueo que estaban completamente corroídas. Todos los elementos de sujeción que no estén en buenas condiciones debe reemplazarse con elementos de acero inoxidable lubricados, en caso de que fueran de acero dulce estándar.

Algunas veces hay vigas de sección rectangular selladas o costillas expuestas acanaladas que tienen agua o mezcla de pulpa (**Figura 11**). En estos casos, se pueden perforar orificios de drenado en los espacios que estén llenos de agua. Cada perforación se realiza en el lugar y del tamaño adecuado para drenar eficazmente el espacio pero sin afectar negativamente la integridad estructural de la pieza.

Finalmente, llegamos al punto en que puede ser necesario el remplazo de una pieza estructural por múltiples razones. El remplazo puede ser necesario si las soldaduras requeridas afectan las tolerancias del fabricante de equipo original. Por ejemplo, demasiada soldadura a lo largo de la longitud de una viga podría curvar por calor la viga y hacer que salga de tolerancia, por tanto, en vez de soldarla, debe ser reemplazada. A veces, hay que reemplazar o reparar un gran porcentaje de la pieza, p. ej. el 50 o 60 % o más, y generalmente es más económico reemplazar toda la pieza (**Figura 13**). El tiempo del paro también podría limitar el tiempo disponible para la reparación, probablemente podría reemplazar una pieza más rápido que si la repara. Además, los beneficios adicionales de la pieza o sección con la tecnología más reciente actualmente disponible pueden hacer que resulte más viable, en términos económicos, reemplazarla que repararla.



Figura 13. El extremo de este soporte de pasillo está totalmente corroído de lado a lado y gran parte del material ya no existe. Otras partes del soporte también presentan delaminación en curso. Esta pieza tendrá que ser reemplazada.



Figura 14. Observe el espacio y la poca área de contacto entre los bloques removibles y el bastidor. Esto reduce drásticamente la estabilidad de la pieza que se soporta en estas uniones y se pueden producir vibraciones o movimientos durante el funcionamiento.

Conclusión

En este documento se han examinado las pruebas no destructivas según las realiza Valmet actualmente en las fábricas de pulpa, papel, cartón y pañuelos. Como todo mantenimiento preventivo, hay momentos en los que las PND son adecuadas y hay momentos en que no constituyen la mejor solución. Las pruebas no destructivas pueden ayudar a resolver problemas graves de los procesos, y evitar fallas desastrosas de los equipos y condiciones de operación inseguras. El personal de Valmet ha realizado las PND en cientos de fábricas en todo el mundo. Cuando esta experiencia se combina con nuestro know-how del proceso y con el acceso a los planos originales, usted recibe una solución inmejorable para mantener sus operaciones en funcionamiento.

Este documento es el resultado de entrevistas con Byron Muhs, Gerente de Producto, y Dave McCarville, Experto en PND de Valmet, en conjunto con la información de referencia del Centro de Recursos de PND (www.ndted.org).

Valmet Corporation es un proveedor global de maquinaria y sistemas en la industria de proceso, así como de consumibles y de servicios posventa. El área de negocios de tecnología de fibra y papel de la empresa es el principal proveedor en el mundo de tecnología, sistemas y equipo para las industrias de pulpa, papel y transformación. Otros negocios fundamentales de Valmet son la tecnología minera y de construcción, y la tecnología ambiental y de energía. En 2009, las ventas netas de Valmet Corporation ascendieron a 5,000 millones de euros, y contaba con aproximadamente 27,000 empleados en total. Valmet opera 300 unidades de negocios en 50 países, y atiende a clientes en más de 100 países.