

Solución al problema de confiabilidad de motores de CD en un caster de Billets

Fernando Ardines¹, Bernardo Sainz², Jesús Aguilar³, Hector Ortiz⁴

¹EVRAZ Rocky Mountain Steel

1612 East Abriendo Ave, Pueblo, Colorado, United States, 81004

Tel: +1-719-561-6000

Email: fernando.ardines@evrazna.com

²AMI

Boulevard Gustavo Diaz Ordaz 402, Nuevo Leon, Mexico, 64650 Tel: +52-81-1001-4050

Email: bernardo.sainz@amiautomation.com

³AMI

Boulevard Gustavo Diaz Ordaz 402, Nuevo Leon, Mexico, 64650 Tel: +52-81-1001-4050

Email: jesus.aguilar@amiautomation.com

⁴AMI

Boulevard Gustavo Diaz Ordaz 402, Nuevo Leon, Mexico, 64650 Tel: +52-81-1001-4050

Email: hector.ortiz@amiautomation.com

Clave: caster, revamp, confinado, CA, CD, escudo, motor, temperatura, enfriamiento, encoder, solucionar, QFD

INTRODUCCIÓN

El caster continuo de seis hilos en EVRAZ Rocky Mountain Steel en Pueblo, CO, experimentó problemas de fiabilidad con los motores de la CD de retiro/plancha (w/s), encoders y variadores de velocidad. La ubicación de los motores los expone a condiciones de calor extremo, lo que resulta en altas tasas de falla de motor y encoder. Con el fin de mitigar el problema, el equipo de mantenimiento EVRAZ fabricó un chaleco refrigerado por agua para los motores y utilizó encoders refrigerados por agua, pero las acciones no fueron suficientes para fijar o reducir considerablemente las tasas de fracaso.

EVRAZ decidió actualizar el sistema de control de la extractora/plancha, incluyendo la sustitución de los viejos motores de CD y unidades. La solución propuesta por AMI incluye nuevos motores de corriente alterna estándar con sondas RTD para monitoreo de temperatura, y encoders estándar dentro de un espacio enfriado por agua como parte de la actualización. Los tres primeros motores de la extractora del Hilo 1 fueron substituidos en noviembre de 2013 como una prueba inicial. Las lecturas de temperatura del bobinado de los motores del Hilo 1 mostraron un aumento de la temperatura máxima de 85° C, muy por debajo de los índices de aislamiento del motor.

Los seis motores w/s de los Hilos 2 y 3 fueron substituidos en mayo de 2014 y los restantes nueve motores para los hilos 4, 5 y 6 fueron cambiados en octubre de 2014. Desde entonces octubre del 2014 ningún motor ni encoder ha sido dañado por calentamiento mientras su agua de enfriamiento está circulando.

DISCUSIÓN

DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

El caster ha estado en funcionamiento desde la década de 1980. La extractora del caster se compone de tres stands por el hilo, cada uno con un motor independiente para un total de 18 motores para todo el caster. Ver figura [1] para una visión general del caster. Los motores de la extractora fueron TENV (totalmente cerrados sin ventilación) para CD (corriente directa), controlados de forma independiente mediante variadores de velocidad de estado sólido con control de campo y armadura. Los motores del caster utilizan encoders para regulación de velocidad y ruedas de seguimiento para medición de la longitud del hilo.

Los stands a menudo tienen que ser removidos de operación para mantenimiento predictivo o por fallas durante la producción, afectando la productividad general del caster, objetivos de rendimientos y retos de programación de producción. La falla más común de los motores son debido a la fatiga de calor eléctrico. Daños al aislamiento de las bobinas eléctricas y al circuitos del encoder son atribuidos típicamente a la exposición de alta temperatura. Con estructuras aledañas que rodean a los motores alrededor 150° C durante el verano, el enfriamiento por agua alrededor de los motores y encoders de típicamente no bastaba evitar el daño. [2] la figura muestra un motor original de CD con una bobina de refrigeración por agua.

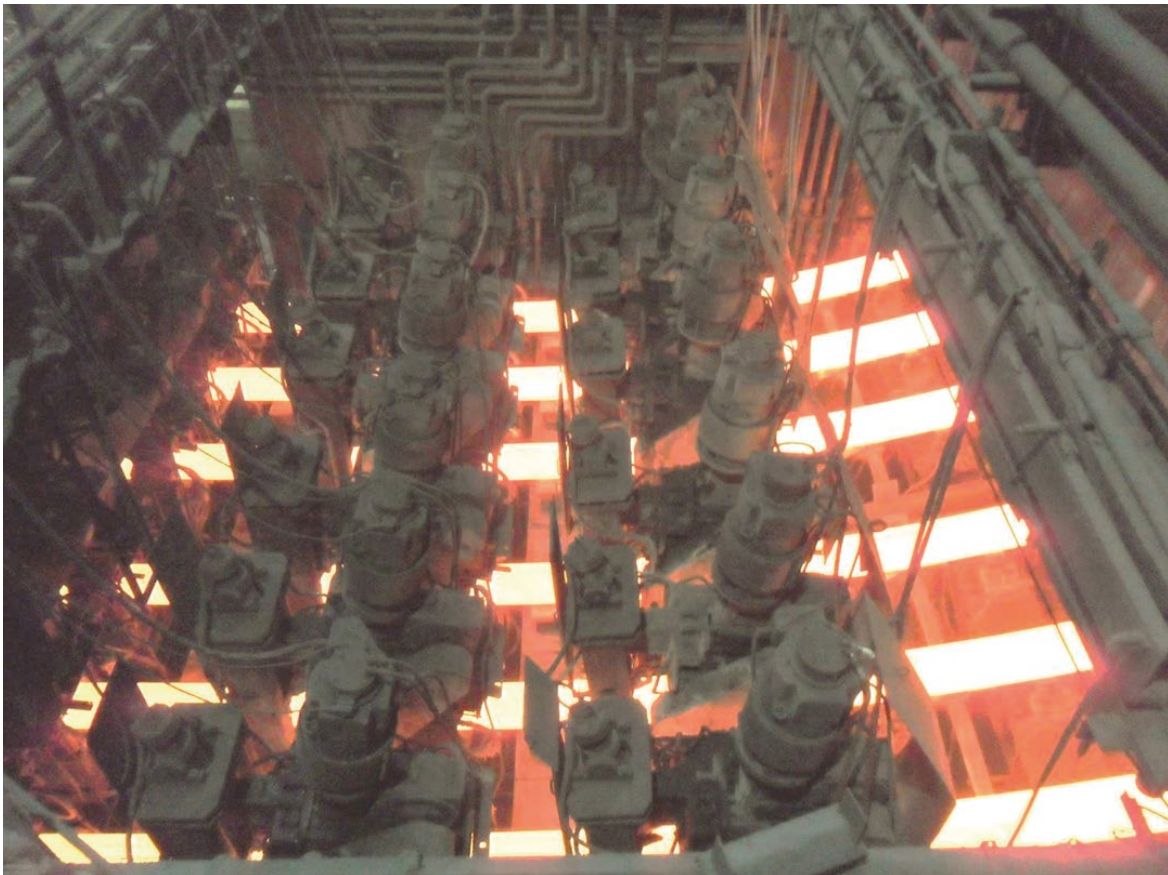


Figura 1. Configuración de seis hebras Caster con los motores originales y encoders.

El problema del caster ya discutido previamente se sometió a un análisis e identificación de varios problemas clave. Una vez definida la causa, se le proporcionará una solución factible a cada problema.

ANÁLISIS

Definición del problema general

El objetivo principal del análisis es encontrar lo que evita la operación del caster sin interrupciones del motor / fallas en encoder. La figura [3] es un diagrama con el mapa del problema.



Figura 2. Motor de CD original con serpentín de agua externo alrededor de la parte central.

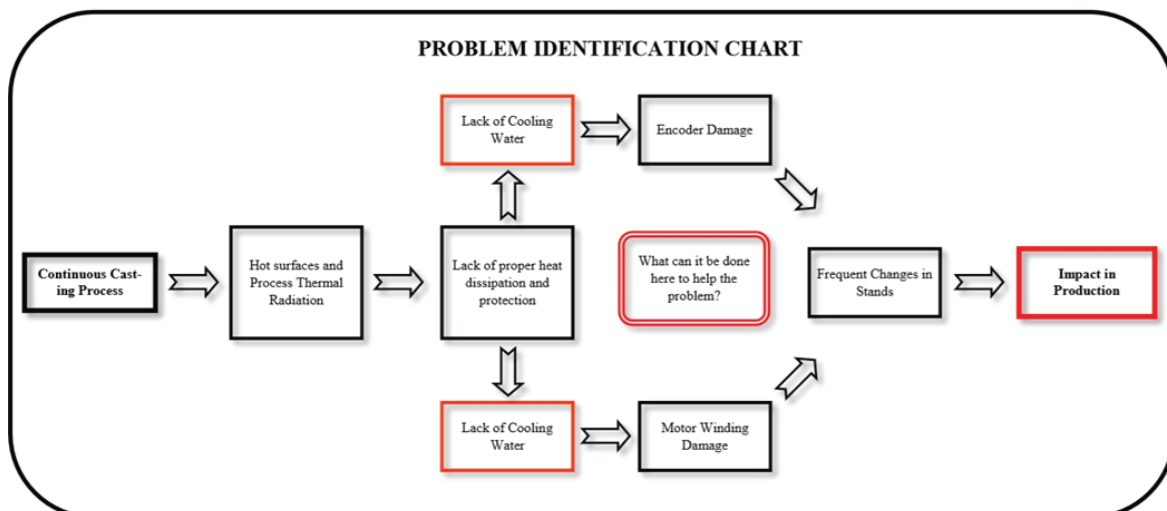


Figura 3. Diagrama para identificación del problema y sus actores.

Como se muestra en mapa del problema de la Figura [3], se definieron los siguientes problemas:

- Calentamiento excesivo del motor principal / unidad del encoder.
- Calor excesivo de la estructura de montaje del motor principal.
- Dependencia de encoder para el proceso.
- Cambio de los métodos de conexión en el stand.
- Dependencia del agua de enfriamiento.

Análisis de los problemas de calefacción

Un diagrama de flujo de calor mostrado en la figura [4] da un mejor entendimiento de cómo ensamble del motor de encoder se encuentra en relación con la dirección de la colada. Como se muestra en la figura [4], los motores están justo al lado de la trayectoria de los billets, a una temperatura de aproximadamente 950 ° F en el primer stand. La energía irradiada es absorbida por las estructuras cercanas, incluyendo los stands, motores y encoders.

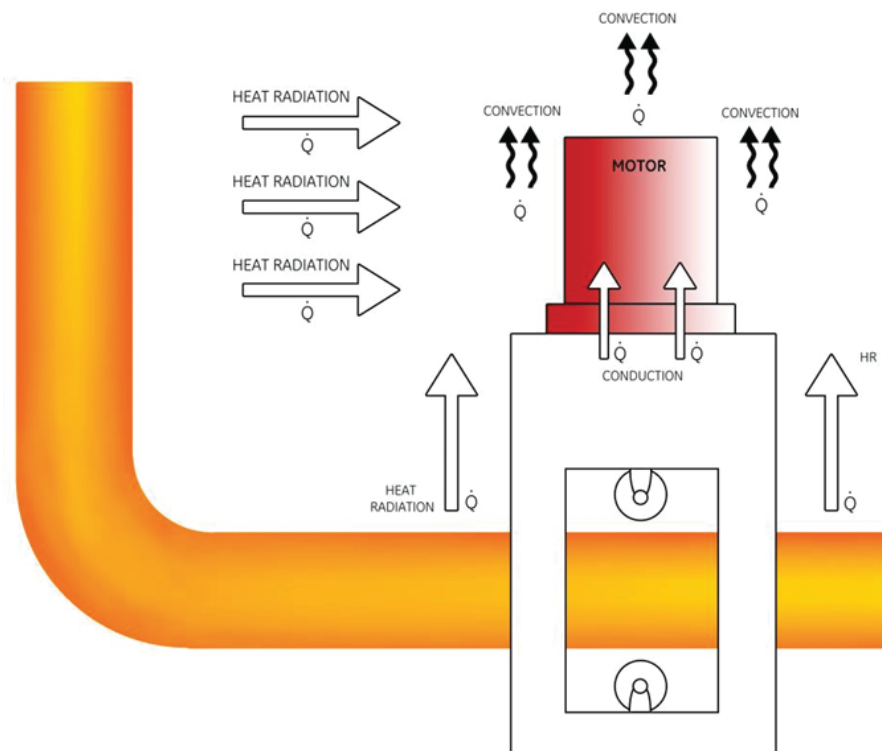


Figura 4. Diagrama de flujo del calor.

Sólo puede disipar el calor producido del motor por aire (convección). Esto es complicado por la amplia gama de condiciones climáticas en Pueblo, CO, con temperaturas hasta 40° C durante el verano y hasta -27 ° C durante el invierno (ref 2014 [1]). Días calurosos de verano afectaría el motor disipación por aire. No fue posible medir la temperatura media del ambiente del caster en los stands debido a la falta de instrumentos presentes y el costo y la complejidad de añadir infraestructura de instrumentos para lograrlo.

Como muestra [2] de la figura, la bobina refrigerada por agua rodea una porción pequeña del motor. Esto puede extraer una parte del calor del motor; sin embargo, no impide que el calor radiante de la floración alcanzando el motor. Además, el calor del motor de DC no es disipado fácilmente por el

serpentín de enfriamiento exterior ya que el flujo principal de calor es a través de la armadura giratoria, mientras que la parte fija sólo contiene el devanado de campo.

Del anterior análisis de flujo de calor alrededor del motor, se deduce que los devanados de armadura de motor de campo se están degradando por el estrés de calor del recubrimiento químico de los conductores. La capacidad de resistencia al calor de la bobina del material de aislamiento tiene una limitación conocida en la industria, así que hay un rango de temperatura que cualquier construcción de motor determinado en última instancia fracasará, no importa lo que el grado de aislamiento (incluso la calificación disponible clase H).

Falla del encoder

Comportamiento térmico del encoder es similar al del motor, conforme a la exposición de calor radiante directo. La única diferencia es que el serpentín adaptado de refrigeración por agua del encoder cubre un área más grande.

El encoder se instala en el lado de ODE (lado opuesto a carga del motor). Como en el caso del motor, el calor irradiante puede llegar al encoder, su bobina y su porción de montaje del motor. A pesar de que el encoder tiene un serpentín refrigerado por agua para protegerlo del calor del aire y radiación, el encoder todavía está conectado al eje del motor por una sección grande y continua, que conduce una considerable cantidad de calor para el encoder. Además, la mayoría de la producción de calor del motor de la C.C. está en la armadura giratoria. Si no ventila, el calor debe ser disipado por sus partes mecánicas, incluyendo el encoder. Además, informes de personal de mantenimiento indican que tubos obstruidos se encuentran comúnmente en los serpentines refrigerados por agua de encoders fallidos, eliminando la única capacidad de disipación de calor del encoder que no sea el aire ambiente.

Mantenimiento de los Stands y necesidades de conexión – desconexión

Puesto que los stands suelen ser montados y desmontados para mantenimiento mecánico, motores y encoders requieren un rápido método de desconexión. Los encoders normalmente tienen una conexión de socket exterior pero no es el caso de los motores. Los motores originales del caster tienen un punto de conexión expuestos que proporciona un punto directo de entrada al motor interior para partículas, humedad y otros contaminantes. Esto puede conducir a problemas de no relacionados con temperatura, pero no hay ninguna información disponible para apoyar que las fallas de motor estaban relacionados con la contaminación interna.

SOLUCIONES PROPUESTAS

Análisis de causas que indican que las fallas están relacionadas con el calor ayudó a determinar la solución óptima. Muchos de los problemas pueden fácilmente relacionarse con calor y no se pueden generar soluciones triviales. Primero se comparan los requisitos iniciales impulsados por metas de producción y mantenimiento. Es necesario ponderar los objetivos para dirigir las soluciones. Para lograr esto, se utiliza una referencia típica y voz de la técnica de cliente – herramienta QFD (Quality Function Deployment)–. La figura [5] es la representación de la casa de QFD. La herramienta es útil cuando se solicitan múltiples objetivos y ayuda a conectar el planteamiento del problema inicial a los reales objetivos posibles para la solución.

Los principales requisitos funcionales que la solución tendrá como objetivo atender son los siguientes:

- 1)Uso de equipos auxiliares de extracción de calor. Se define como el uso de cualquier equipo que pueda ser capaz de eliminar el calor del motor y del encoder.
- 2)Aumento en la capacidad de eliminación de calor. Se define como los medios del actual sistema para conducir el calor lejos del motor y del encoder.
- 3)Aumento en cabezas del encoder. Se define como la cantidad de unidades que son capaces de

monitorear la velocidad de rotación del eje del motor.

4)Aumento de temperatura sensores. Se define como la cantidad de dispositivos capaces de detectar la temperatura del motor y encoder de control.

5)Selección de AC motores sobre motores de CD. Se encuentra que el peso relativo muestra más relación entre las solicitudes funcionales dirigidas a la DC motor. Esto es puramente arbitrario.

Cambio de motor a CA

Se seleccionó a un cambio de DC a motores de corriente alterna. Esto tiene una implicación alternativa en que el enfoque requiere la migración a variadores de CA. Las características principales son las siguientes:

1)Grado de aislamiento clase H, que permite que el motor ejecutar hasta 165° C (329° F).

2)Motor es totalmente cerrado y no ventilado (TENV). Esto evitará contaminación exterior llegue a la construcción de la bobina. Sin embargo, afectará a la disipación de calor en general.

3)Motor de 10 HP, seis polos, 1190 rpm para aumentar potencia del stand y capacidad actual del motor.

El par del motor CA tiene que ser similar o mayor que el motor sustituido de DC. Un torque comparativo se calculó usando la ecuación [1] para un torque en lb-ft. Los valores se muestran en la tabla [1]. La información general de motor de AC se muestra en la tabla [2]. El motor de 6 polos 1200 rpm de 10 HP corriente alterna es elegido para esta aplicación, que será capaz de suministrar 159% más par que el motor existente. El motor es seleccionado para ser capaces de correr a una velocidad nominal de 150% para satisfacer la gama de velocidad del motor DC sustituido.

$$\text{Torque} = \frac{(\text{hp}) \times 5252}{\text{rpm}}$$

Ecuación 1. Cálculo de torque en lb-ft, basado en la potencia del motor (hp) y velocidad (rpm).

MOTOR	Torque (lb-ft)
Motor CD 7.5 hp y 1450 rpm	27 lb-ft
Motor CA 10 hp y 1800 rpm (cuatro polos)	29 lb-ft
Motor CA 10 hp y 1200 rpm (seis polos)	43 lb-ft

Tabla 1. Comparación del Torque nominal del motor.

MOTOR	
Voltaje	460 volts
Fases	3
Polos	6
Potencia	10 hp
Corriente plena carga	1.4 amps
Velocidad nominal	1190 rpms
Clase de Aislamiento/ Elevación	H / F

Tabla 2. Información del Motor seleccionado de AC.

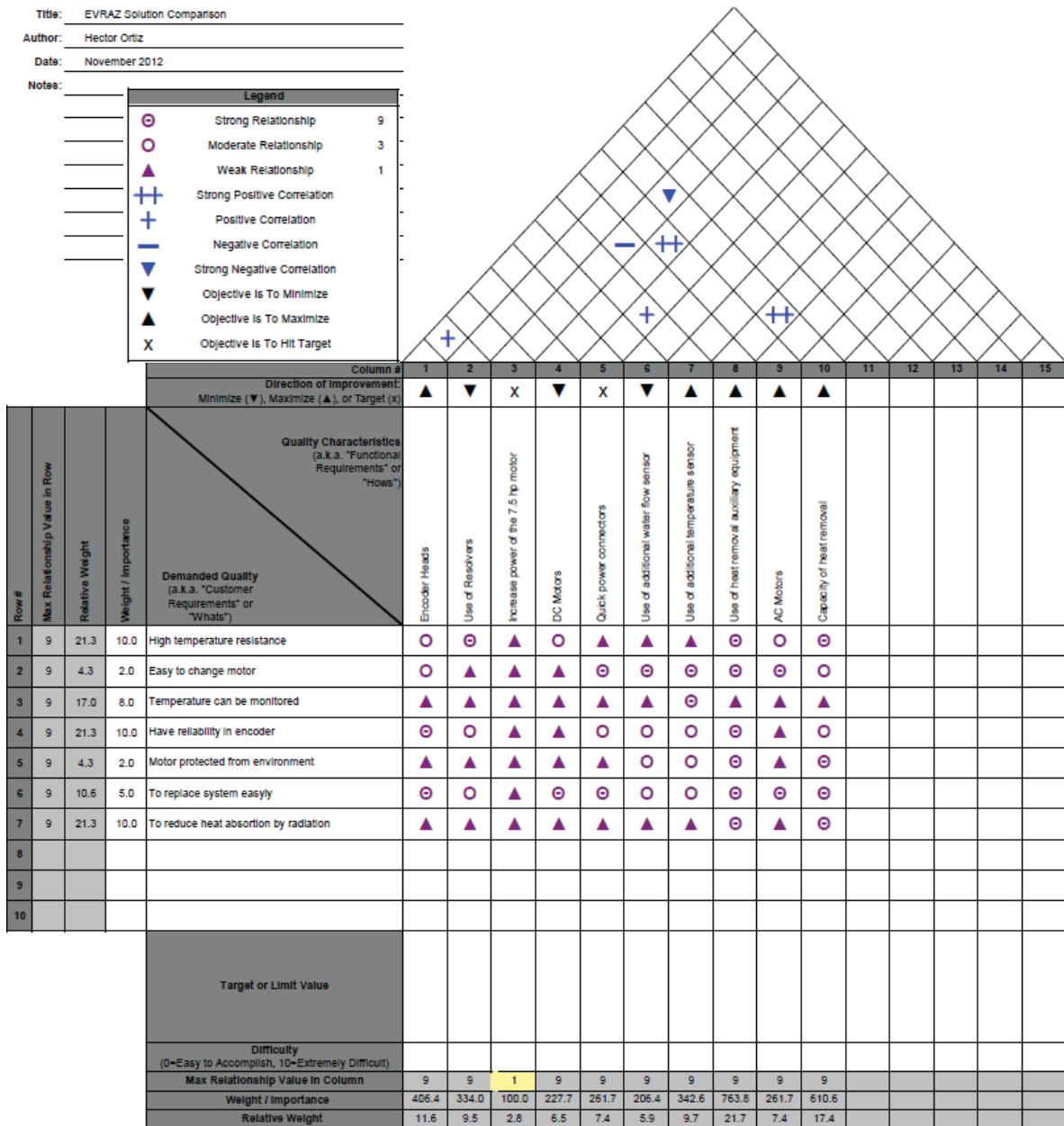


Figura 5. Diagrama QFD para entender las relaciones de la funcionalidad.

Protección de Calor del Ensamble Motor – Encoder

Basado en el diagrama QFD se muestra en la figura [5], hay una fuerte relación negativa entre la "Capacidad de eliminación de calor" y "Aumentar la potencia del motor de 7,5 HP." Arbitrariamente, esta relación es redirigida para integrar el entorno. Ahora la correlación negativa se indica "cómo aumentar la capacidad de eliminación de calor y aumentar la potencia al mismo tiempo". Por heurística, se entiende que si aumenta la energía, las pérdidas aumentan y disipación será más difícil.

La fuerte relación negativa se apoya en principios TRIZ de diseño. Para evitar el sobrecalentamiento generado los billets del caster llegue a la unidad del motor, se instaló un escudo se muestra en la figura [6]. El escudo es construido por una espiral ascendente de tubo, que circula el agua hacia arriba desde el proceso de enfriamiento por agua.

El escudo del motor tiene las siguientes funciones operativas:

- 1) Bloquea la transferencia de calor de los billets al motor y encoder.
- 2) Quita el calor incidente del billet por medio de la circulación de agua.
- 3) Expone una cara más fresca al interior de la pantalla (al motor y encoder).
- 4) Evita que polvo y partículas de caída libre en el encoder.

Como se muestra en la figura [4], el calor del motor proviene principalmente de dos fuentes: 1) radiación de calor del billet y 2) calor por conducción de la estructura del stand. Para reducir el calor de la estructura del stand, una base de refrigeración fue anexada. Ahora en lugar de montar el motor directamente a la base, el motor está montado en la base de refrigeración. La base es refrescada por el agua de proceso en el mismo circuito que la bobina superior. Por lo tanto, el escudo del motor comprende: una base de enfriamiento, una bobina de agua de la pared superior y una placa con función de cubierta superior (sin flujo de agua).

Para acelerar el cambio de soporte

En comparación con la solución original, se instalan los motores nuevos con conectores rápidos. Estos conectores son clase IP6X por lo que pueden soportar la humedad del medio ambiente. El conector sella herméticamente su lado de conexión mientras que su lado de salida de cable cuenta con sellos glándulas. Se espera que estas terminales de conexión reduzcan de forma general el tiempo de conexión y desconexión de la instalación eléctrica de los motores a un minuto.

Disponibilidad y confiabilidad de encoder

Encoders se dejan montados en los motores. Sin embargo, los encoders quedan dentro del escudo, así. En contraste con el diseño original, en la que una pequeña bobina refrigerada por agua había cubierto una parte del motor y una parte del encoder, el nuevo plan protege el encoder de radiación térmica, que se estima para mejorar la vida del encoder. Se seleccionaron los encoders para operación en 105° C (220° F).

Otra cuestión con los encoders es la disponibilidad. A diferencia de los motores, los encoders son difíciles de monitorear predictivamente para cuestiones de mantenimiento. La ruptura eléctrica del encoder es difícil de estimar y a menudo falla en condiciones de operación. Para mejorar la disponibilidad de lectura de encoders, un encoder de cabeza dual es seleccionado. Ambas cabezas de lectura fueron conectadas al variador para regulación de velocidad y al PLC para fines de longitud del caster.



Figura 6. Ensamble del escudo térmico del motor.

PUESTA EN PRÁCTICA

El nuevo sistema fue implementado en tres etapas para probar el rendimiento y la fiabilidad. Las etapas de implementación son las siguientes:

- 1)Hilo 1 – octubre de 2013
- 2)Hilos 2 y 3 – mayo de 2014
- 3)Hilos 4, 5 y 6 – octubre de 2014.

La programación para la puesta en marcha fue diseñada para que en la etapa uno pudiera probarse la arquitectura del sistema de motores y el diseño de escudo. Desde este enfoque la solución térmica proporcionada por el escudo del motor fue demostrada para ser correcta. El motor no mostró una temperatura superior a 85° C (185° F).

A pesar de que la etapa uno fue exitosa, los Hilos de tres y cuatro son los stands con condiciones ambientales de calor más exigentes. Estos soportes se encuentran en medio del caster, donde se esperan temperaturas más elevadas. En esta zona la temperatura del aire es mayor y la zona recibe mucha más radiación que los filamentos del borde uno y seis. En la figura [7] se muestran los hilos del 1 al 3 con los escudos del motor y los motores nuevos mientras que cuatro por seis todavía tienen los motores originales

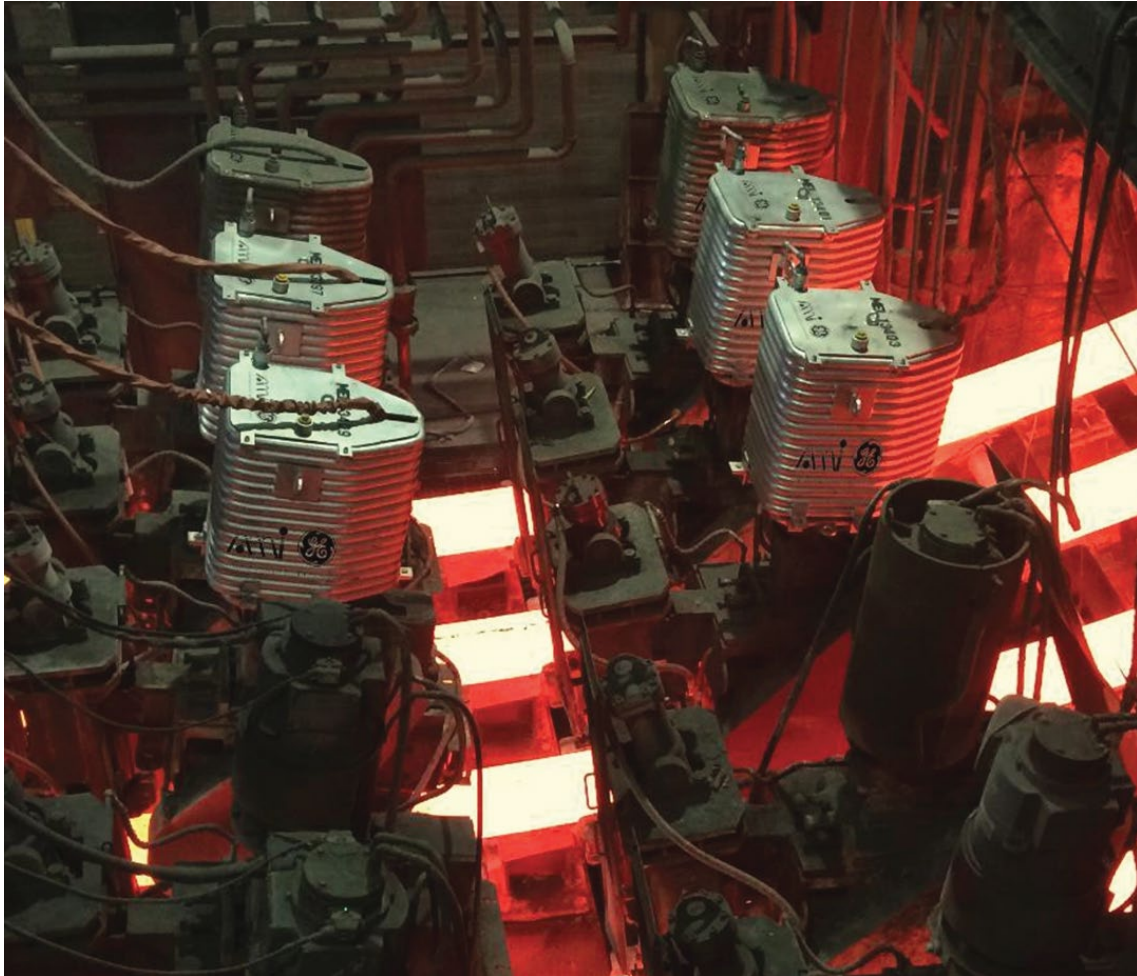


Figura 7. Construcción del ensamble del escudo de motor montado en los stands.

Rendimiento general del sistema

El sistema superó las expectativas de temperatura. En mayo de 2014, después de dos días de producción del caster el motor más caliente mostró una temperatura de 74° C (165° F). El supuesto inicial del motor más caliente fue acertado, mostrándose el motor mayor temperatura en el Hilo 3, en el Stand más próximo a la extractora. El motor más frío mostró ser el Stand más retirado de la extractora en el Hilo 1 (Hilo de borde) con una temperatura de 50°C (122° F). Las temperaturas están muy por debajo del límite de 165° C (329° F) del motor.

Durante el cambio de los motores de CD a CA se implementó una lógica de reparto de carga entre los stands de cada filamento. Diferente que el uso de droop, se implementó una compensación de equilibrio de carga con referencia principal y esclavos. Con el motor seleccionado de CA de 10 HP la carga es alrededor del 5-20% dependiendo de la sección transversal y velocidad del producto. Para billets de gran sección transversal el sistema entró en cuadrante de regeneración. Para lograr esto, se instaló una unidad de línea de regeneración AC. La energía necesaria para frenar el billet es devuelta a la línea mediante la unidad de regeneración y los variadores de velocidad.

CONCLUSIONES

Más pruebas y monitoreo está teniendo lugar en este momento (2015) por EVRAZ para medir el éxito de la modernización y el ahorro en costos en comparación con anteriores fallas de motor y el tiempo de inactividad que esto conllevaba. También se realizará una comparación del desempeño de las temperaturas durante el próximo verano (segundo verano desde la instalación inicial).

La modernización del sistema de motores de DC original con los nuevos motores de AC y protectores térmicos de motor superó el comportamiento esperado. El motor en marcha la temperatura ha estado por debajo de 148° C (300° F) y la temperatura se monitorea de forma activa y continua para propósitos de mantenimiento predictivo. La carga del motor es muy baja, principalmente debido a la torque adicional disponible. Para implementaciones futuras, se considera un motor de CA más estándar con aislamiento clase F y una temperatura ambiente de 40° C (104° F). Debido a la reducción en la temperatura del espacio del motor y encoder de trabajo, se puede utilizar un encoder estándar.

La modernización del sistema demuestra los beneficios de los cambios de topológicos en casters continuos y se puede considerar exitosa. La introducción de motores AC que corren más fríos y el uso de escudos térmicos ayuda y mejora los períodos de mantenimiento, reduce fallas y mejorar los niveles de productividad de la colada continua.

REFERENCIAS

1. Kevin Otto, diseño de producto, Prentice-Hall, Upper Saddle River, NJ, 2001, pp 289.
2. Pyrhönen, diseño de las máquinas eléctricas, rotativas Prentice-Hall, Upper Saddle River, NJ, 2001, pp 432.