

**FEDERACIÓN RUSA
UNIVERSIDAD MINERA DE SANT PETERSBURGO "GORNI"
FACULTAD DE METALURGIA
DEPARTAMENTO DE AUTOMATIZACIÓN DE LA PRODUCCIÓN Y
PROCESOS TECNOLÓGICOS**

**GESTIÓN Y CONTROL AUTOMATIZADO DEL PROCESO DE
PRODUCCIÓN DE ALUMINIO SECUNDARIO**

Tesis presentada en opción al grado científico de Doctor
en Ciencias técnicas.

LOURDES MARÍA GARCÍA PUJADAS

**Sant – Petersburgo
2016**

**UNIVERSIDAD MINERA DE SANT PETERSBURGO "GORNI"
FACULTAD DE METALURGIA
DEPARTAMENTO DE AUTOMATIZACIÓN DE LA PRODUCCIÓN Y
PROCESOS TECNOLÓGICOS**

**GESTIÓN Y CONTROL AUTOMATIZADO DEL PROCESO DE
PRODUCCIÓN DE ALUMINIO SECUNDARIO**

Tesis presentada en opción al grado científico de Doctor
en Ciencias técnicas.

Autor: Prof. Aux., Ing. Lourdes María García Pujadas, MSc.
Tutor: Prof. Tit., Ing. V.Y. Bazhin, Dr C.

**Sant - Petersburgo
2016**

SÍNTESIS

La producción de aluminio secundario a partir de chatarra y residuos es una de las áreas en desarrollo de la industria metalúrgica. Esta, permite reemplazar la cantidad faltante de metal, así como resolver problemas ecológicos y de ahorro de recursos con elevada eficiencia en la producción. Cientos de fábricas se dedican al procesamiento de aluminio secundario, siendo considerado como uno de los principales consumidores la industria automovilística en un 60%, seguida por la industria de la construcción.

Actualmente existe una elevada tendencia a utilizar como aluminio secundario, residuos altamente contaminados, provenientes de latas de refresco y cerveza, escoria, entre otros. Esto conlleva a tener que considerar la selección de residuos no dañinos ecológicamente para aumentar la efectividad económica en su producción y no afectar al medio ambiente.

En Cuba no hay producción de aluminio primario, sin embargo, debido a la gran acumulación de chatarra de aluminio y residuos de la producción, estos son exportados a Canadá, Japón y China. Dicha situación, impone la introducción de modelos racionales, altamente efectivos de reelaboración o reciclado del aluminio en función de aumentar el coeficiente de metal útil anualmente y la calidad de las piezas fundidas.

En la actualidad, existen dificultades en la forma que se aborda el control operacional y la gestión de la producción o procesamiento (reciclado) de residuos de aluminio sobre la base del pronóstico de las circunstancias tecnológicas reales. En el presente trabajo se desarrollan modelos de monitoreo operativo (en tiempo real), de supervisión tecnológica y control de todas las etapas del proceso de producción de aleaciones a partir de residuos de aluminio con el aseguramiento racional de los materiales fundamentales sobre un sistema de control automatizado integrado.

INTRODUCCIÓN

Una de las causas que ha provocado el mal trabajo de varias empresas de redistribución de la chatarra de aluminio en calidad de materia prima es la falta de coordinación entre los cálculos de optimización y el sistema de control operacional y gestión de la producción. Para la aplicación de los modelos desarrollados surge la necesidad de implementar una aplicación informática multi-nivel, en medio del sistema integrado de la gestión de la empresa.

Varios científicos rusos y extranjeros, tales como P. Brooker, V.L. Maxwell, D.S. Johnson, S.A. Dumler, R. Bellman, S. Dreyfus, Karl Schmitz, M. Shestopal, G.G. Kulikov, A.V. Rechkalov, A.V. Sheer, R. Kantorovich, V.S.Tanaev, A.V. Kurdyumov, B.B. Gulyaev, V.I. Moskvitin, V.I. Nikitin, G.S. Makarov, et al han destinado sus investigaciones a diversos aspectos de la planificación y ahorro de los recursos sobre la base del desarrollo de la automatización de procesos y el control del proceso de producción de las empresas metalúrgicas de la segunda refundición.

Durante los últimos 10 años en el mundo entero ha crecido el interés en la elaboración de sistemas de control de supervisión y adquisición de datos altamente eficientes y fiables sobre la base de los sistemas SCADA (Control de Supervisión y Adquisición de Datos). Ello se debe a los avances de la tecnología de la información y las comunicaciones, que a su vez, aumenta las posibilidades de ampliar el alcance de los sistemas automatizados de dirección para los procesos tecnológicos de producción (SADPT) en la Metalurgia. Por otro lado, con el desarrollo de las tecnologías, el incremento del nivel de la automatización y la redistribución de funciones del proceso de producción, ha surgido la necesidad de perfeccionar la interacción del operador con el sistema de control.

Para identificar los vínculos entre los elementos de la producción, la repercusión de la variabilidad de transcurso de los procesos y la identificación de sus problemas, es necesario establecer regímenes de gestión de la producción relacionados con el aseguramiento de los recursos en forma de modelos tecnológicos complejos. Por esa razón, es de gran actualidad, el desarrollo de bases metodológicas para la creación de una producción rentable y de alta tecnología de productos de aluminio, derivados de los residuos y desechos con métodos avanzados de control, predicción y la automatización de todas las operaciones tecnológicas del "ciclo de vida" de los productos.

El uso generalizado de la innovación e integración de las empresas del reciclado del aluminio, permite lograr una producción tecnológica automatizada altamente eficiente, proporcionando productos de calidad bajo estrictos requisitos medioambientales.

En el contexto de la creciente escasez de materia prima para la fundición de aleaciones de aluminio secundario de alta calidad, resulta indispensable la introducción de sistemas racionales de preparación y procesamiento de chatarra de hierro y acero y la recuperación de residuos de aluminio, potenciando también la calidad del metal, por lo que constituye una tarea prioritaria para la industria siderúrgica cubana.

Se consideraron como casos de estudio, las empresas "MaquiMotor" de Nicaro y la Mecánica del Níquel "Gustavo Machin Hoed de Beche" en Moa.

En las empresas mencionadas arriba, no se controla, en tiempo real, el comportamiento de los parámetros tecnológicos que inciden en la disminución de piezas defectuosas, fabricadas con aluminio secundario; tampoco se obtiene el aluminio secundario considerando previamente la clasificación de la chatarra y los residuos de la producción.

El trabajo de investigación es llevado a cabo de acuerdo con el Decreto del Gobierno de la Federación Rusa 08/10/2013 №891 «Sobre la asignación de cuotas para la educación de los ciudadanos extranjeros en la Federación Rusa, y la formación de los profesores de las universidades de la República de Cuba».

Por lo antes expuesto se plantea como **problema de investigación**: ¿Cómo favorecer el control y dirección automatizada de la producción de aluminio secundario (reciclado del aluminio) teniendo en cuenta las condiciones actuales en las empresas metalúrgicas en Cuba que procesan aluminio secundario?

Considerando como **objeto de estudio** a la tecnología de producción de aluminio secundario (proceso de reciclado del aluminio) y sus métodos de control automático.

El **campo** de acción lo constituyen los Sistemas Automatizados de Dirección de Procesos de aluminio secundario.

Se plantea como **objetivo general de la investigación** el desarrollo de modelos de monitoreo operativo (en tiempo real), de supervisión tecnológica y control de todas las etapas del proceso de producción de aleaciones a partir de residuos de aluminio con el aseguramiento racional de los materiales fundamentales sobre un sistema de control automatizado integrado.

Tareas de investigación

- estudio de la influencia de los parámetros tecnológicos del proceso en la calidad de las aleaciones durante el tratamiento de los residuos y desechos en todas las etapas del ciclo de producción;

- analizar procesos tecnológicos teniendo en cuenta la experiencia internacional acerca de la operación y el diseño de la producción de aleaciones de aluminio con residuos y desechos;
- realizar la fundamentación científica del control de los regímenes tecnológicos de tratamiento de residuos de aluminio con diferentes grados de contaminación para la producción de aleaciones de aluminio de alta calidad con las propiedades deseadas;
- determinar las condiciones del monitoreo automatizado de las etapas del proceso preparatorio;
- crear una descripción formal del diagrama (o esquema) de control del complejo de fundición(taller) para mejorar el rendimiento de metal(aumentar el metal útil), y reducir la cantidad de defectos en el producto final;
- desarrollar un modelo de red neuronal de diagnóstico para identificar los vínculos entre los elementos de producción, teniendo en cuenta la variabilidad de los procesos de tratamiento de residuos de aluminio;
- diseñar un sistema para el control, supervisión y adquisición de datos de tipo SCADA en la fabricación de aleaciones de aluminio.

Hipótesis

Si se realiza el monitoreo automatizado, diagnóstico y pronóstico de las circunstancias tecnológicas del proceso de la chatarra de aluminio y sus residuos, utilizando un sistema de control automatizado integrado se logrará mejorar la calidad de las piezas fundidas, así como se incrementará el coeficiente de metal útil anual.

Aporte teórico

La estructura, propiedades y la calidad de las piezas de aleaciones de aluminio secundario dependen de:

- la composición química y del grado de contaminación de los residuos y desechos, que se clasifican para ser procesados en diferentes tipos de hornos de fundición y
- la regulación de los parámetros de refinación y fundición dentro de límites predeterminados con ayuda de un sistema de control automatizado integrado.

Aporte práctico

- Elaboración de un algoritmo de dirección funcional para la fundición en condiciones de variabilidad de la calidad de la materia prima.

Novedad científica

- Fundamentación de los principios y parámetros de clasificación de la chatarra de aluminio y residuos con diversos grados de contaminación y su correspondiente tratamiento en diferentes tipos de equipamiento de fundición;
- Diseño del diagrama racional de los procesos de transición de elementos de la carga de la masa fundida bajo las condiciones de un equilibrio dinámico;
- Desarrollo de los métodos científicos para la determinación de las etapas de supervisión, previsión de la situación tecnológica y de las acciones de control durante el proceso de fusión, refinado y colada en los hornos de fundición;
- Determinación de la influencia de la composición química, estructura, propiedades y calidad de la chatarra y los residuos sobre la calidad de la producción del aluminio;

- Creación de un modelo de red neuronal para el cálculo de los parámetros de predicción y control dentro de los límites especificados.
- Diseño de un sistema automatizado para el control del proceso tecnológico en todas las etapas de la producción de piezas fundidas.

Volumen y estructura de la tesis

Consta de introducción, 4 capítulos y conclusiones, expuestos en 139 páginas. Contiene 41 dibujos, 9 tablas, listado de la literatura con 112 referencias bibliográficas.

En la introducción de la tesis se fundamenta la actualidad del tema de la investigación, se formulan el objetivo y las tareas y también se determina la novedad científica, el aporte práctico del trabajo y la hipótesis.

En el capítulo 1 se presenta el análisis de la experiencia internacional y el estado de la tecnología para el tratamiento de los residuos y desechos sólidos para la producción de aleaciones de aluminio. Se presentan modernos algoritmos y modelos de dirección de la producción de aleaciones de aluminio, y se estudian los problemas y retos asociados a la logística y las actividades operacionales en condiciones tecnológicas que cambian debido a la desviación de los parámetros establecidos. Se lleva a cabo una investigación analítica de los métodos de operación y se realiza una búsqueda para el uso racional de los equipos en el ciclo de preparación, hornos de fusión y equipo de fundición. Se examinan avanzados esquemas de ahorro de recursos, se proponen formas principales para la solución de las tareas presentadas.

En el capítulo 2, se justifica y selecciona el método de solución de las tareas propuestas, se presenta el esquema de trabajo experimental y los métodos de control de los parámetros tecnológicos; se elabora la metodología de investigación de los procesos y procesamiento de los resultados obtenidos.

En el capítulo 3 se presentan los resultados de los estudios de la fusión balanceada de chatarra contaminada de pared delgada y de residuos de aluminio con el objetivo de poder lograr una producción de calidad. Se determinan los valores del producto útil anual en dependencia del grado de contaminación (obstrucción) y las variaciones de los parámetros tecnológicos para el moldeo y la fusión. Se obtienen los datos sobre las consecuencias de la estructura de las aleaciones, procesadas bajo diferentes circunstancias, determinantes para la selección del equipamiento de fusión adecuado y diagramas para su elaboración. Se fundamentan los algoritmos de monitoreo automatizados y del pronóstico de la situación tecnológica para el control eficaz del proceso.

En el capítulo 4, se desarrolla y fundamenta el modelo de red neuronal para el pronóstico y el control de los parámetros dentro de los límites especificados. Es elaborado el algoritmo del proceso multifuncional para el monitoreo automatizado, diagnóstico y pronóstico de la situación tecnológica sobre la base de un sistema de planificación jerárquica. Se presenta un esquema de la logística del proceso de producción para un control efectivo de la empresa industrial de reciclaje de aluminio con un mayor ahorro de los recursos.

En las conclusiones, se han formulado los principales resultados de la investigación desarrollada.

El impacto económico, social o medioambiental de los resultados del tema se asocian a el:

- Aumento del nivel de informatización de la producción tecnológica del aluminio secundario;
- Aumento del nivel de automatización de la producción de piezas fundidas;
- La dirección funcional de la producción concebida como una red de procesos tecnológicos en el marco del reciclado del aluminio como rama de la economía nacional;

- Costo de producción del aluminio secundario, en materia prima y materiales. El mismo es de un 84-86%, y en la energía es de aproximadamente un 5-7%. Comparando a estos con el costo de la producción electrolítica del aluminio primario se observa una gran diferencia, una vez que, en este último, el consumo de la energía es mayor en un 35% aproximadamente;
- La mejora de la calidad de las piezas fundidas, así como el incremento del coeficiente de metal útil anual.

MÉTODOS, MATERIALES Y CONDICIONES EXPERIMENTALES

En el trabajo fueron utilizados métodos de investigación experimentales y teóricos, incluyendo la fusión de la chatarra fina contaminada en el complejo - laboratorio triplex (horno de fusión - mezclador de refinación - baño de modificación y moldeo). Fue llevado a cabo el modelado físico de los procesos tecnológicos.

Para el control y monitoreo de los parámetros de todas las etapas del proceso se utilizaron cámaras de rayos X RAP-90-5 y cámaras de escaneo portátil para el estudio de la superficie de las briquetas, termopares de contacto Fluke 51 II y termopares TXA.

La composición de fase de las muestras se realizó utilizando un difractómetro Shimadzu XRD-6000, con un sistema de rayos X para identificar los materiales.

El análisis e interpretación de los gases que se emiten a la atmósfera se realizó con la ayuda de un espectrómetro de masas Pfeiffer Vacuum Termostar GSD301T3 en la interpretación de espectros de masa medida.

La determinación de los elementos de las muestras de la masa fundida se realiza con un difractómetro ДИФРЕЙ-402.

El estudio estructural se realizó mediante microscopía electrónica y microanálisis de rayos X, en el microscopio de barrido electrónico JSM-6460 LV (JEOL) con el accesorio de análisis INCA.

Se realizó la adaptación del Sistema informático de apoyo a la toma de decisiones para la fundición a la operatividad de un sistema SCADA.

La validez y fiabilidad de los enunciados científicos, conclusiones y recomendaciones está dada por la gran cantidad de datos experimentales y el número de muestras seleccionadas y probadas de diferentes lotes de aleaciones, el tratamiento estadístico de los parámetros de la producción de aleaciones de residuos de aluminio para desarrollar un esquema de la logística, realización de pruebas metrológicas de última generación utilizando instrumentación moderna.

El aporte personal del autor consiste en el planteamiento de objetivos, la formulación de tareas y el desarrollo de la metodología de la investigación; en el análisis de la literatura científica que trata el tema de la producción de aleaciones de aluminio a partir de chatarra y residuos, teniendo en cuenta la experiencia del mundo; el desarrollo de la investigación de laboratorio en sistemas de información para el control de calidad de producción de fundición; la adaptación de las soluciones técnicas a las condiciones existentes de producción de aleaciones; la generalización científica de los resultados.

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Debido al gran aumento de la acumulación de chatarra de aluminio de baja calidad, una serie de empresas dedicadas al reciclaje de aluminio, están refundiendo latas de aluminio y otros tipos de chatarra de pared delgada con revestimientos de pintura en los hornos de reverbero (HR), sin prestar atención a las características específicas de la colada de una carga dada (refinación del lote), sin tener en cuenta las particularidades económicas y ecológicas de la producción en los

tiempos actuales. La fusión en el horno de reverbero tiene una serie de deficiencias, que incluyen la incapacidad de automatizar completamente el proceso, la falta de control de la atmósfera del horno y control de la temperatura que es necesaria para la refusión de la chatarra con revestimientos de pintura y orgánicos que son peligrosos ya en la etapa de calentamiento.

Antes del inicio del proceso de fusión de los residuos una gran influencia en el resultado final tiene la previa selección de los residuos, seguido de su clasificación. El estándar ISO 9000 proporciona 12 clases de residuos de aluminio. En esta investigación se propone llevar a cabo la separación clasificada de la chatarra en el ciclo de preparación (cuando se está formando la carga para fundirla), seguida de la clasificación después del control del grado de contaminación de la misma por medio de rayos X).

En dependencia del efecto combinado del impacto de los datos de entrada recogidos (el grado de obstrucción, la humedad, composición química, tamaños o magnitudes) se selecciona la logística de distribución de la carga, la cual, tiene en cuenta las posibilidades técnicas en el proceso de elección de los equipos de fusión apropiados (correspondientes), con el objetivo de lograr el máximo metal útil anualmente.

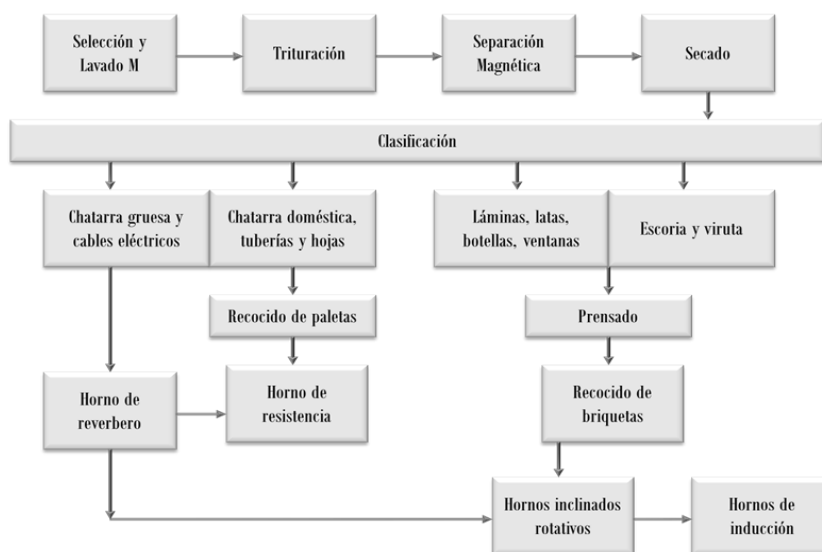


Figura1- Diagrama para la preparación y fusión de la chatarra de aluminio y residuos de diferentes clases

El diagrama de la etapa (o parte del ciclo) de preparación y fundición se muestra en la figura 1. En el mismo se ve que para residuos de aluminio pequeños de baja calidad, y para la escoria con un alto contenido de humedad, aceites, e inclusiones no metálicas, etc., se hace necesario, además del secado a temperaturas de 50-450 ° C antes de la operación de prensado llevar a cabo la operación de recocido (refusión o refundición) de los residuos de aluminio. La logística de la producción que sigue a continuación, implica el paso del metal de un horno a otro, para el "lavado" de los hornos, el ajuste de la composición química, y para crear la capa necesaria de metal.

Para fundamentar el proceso descrito mediante el diagrama de la figura 1 y la tecnología de fundición de residuos de aluminio con un alto grado de contaminación, se llevaron a cabo varias fundiciones equilibradas en régimen de laboratorio. El análisis de la composición de gases que se desprenden en forma de compuestos químicos a partir de chatarra de aluminio contaminada fue realizado después de la exposición de lotes preparados de fragmentos de dicha chatarra de aluminio a una temperatura de 200°C y 450°C. La determinación de la composición de la fase de las muestras se realizó utilizando un difractómetro automatizado con un sistema de identificación por rayos X. Los gases de escape se analizaron utilizando un espectrómetro de masas. Se encontró que un gran número de productos químicos peligrosos (más de 10) se libera de la superficie de aluminio a temperaturas de 200-350°C.

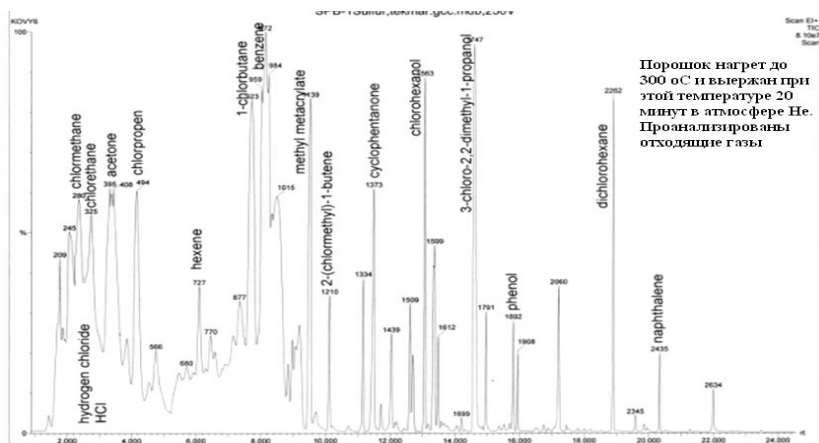


Figura 2 - Espectros de compuestos químicos que se desprenden a la atmósfera a 300°C durante 20 minutos en la atmósfera de He.

Los resultados termogravimétricos de la investigación y del pesaje indican que la pérdida de compuestos volátiles constituyen el 3-4% de la pérdida total de aluminio, y según el componente volátil de salida más significativo tal como el clorobutano, puede ser controlado el proceso de calentamiento (Figura 2) ya desde la etapa del proceso de preparación de los materiales de la carga.

Seguidamente, se fundieron residuos según el esquema tradicional en el complejo laboratorio triplex. En calidad de agregado de fusión fue seleccionado el horno de inducción IAT-12M. Fue modificada la capa de metal en el crisol del horno durante la fusión de latas de aluminio aplastadas y el rendimiento de metal se evaluó después de cada fusión (Figura 3).

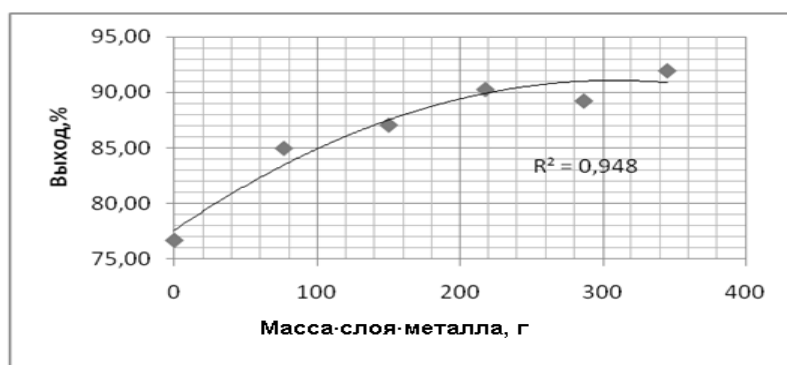


Figura 3 - Influencia de la capa de metal sobre la salida de metal útil anual

El coeficiente anual de metal útil varió desde un 75 hasta 92%. Se determina que la fusión de los desechos contaminados de pequeño tamaño y la viruta es conveniente realizarla en hornos de inducción (IAT) con una capa de metal dado. El impacto de los factores que inciden (número de inclusiones no metálicas y gaseosas, la segregación de compuestos intermetálicos, la composición química original, la temperatura de fundición y fusión, la velocidad de la fundición) se demostró por medio de un estudio estructural de piezas pulidas, que se llevó a cabo por microscopía electrónica de barrido.

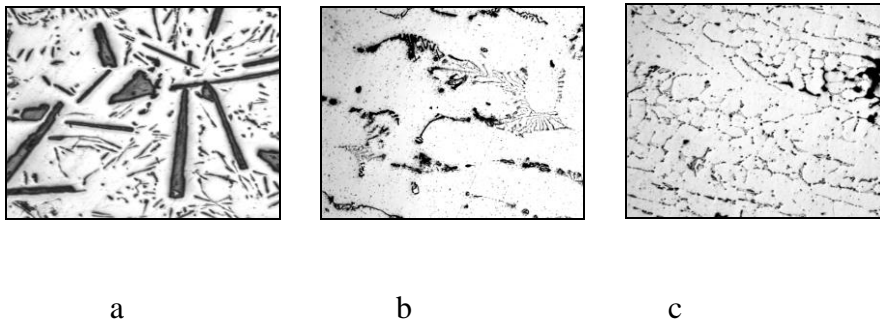


Figura 4 Microestructuras: a) fundición Nro.1 (latas);b) fundición Nro.2 (virutas); c) fundición Nro.3 (virutas después del quemado o calcinación)

Se ve que la microestructura de la pieza fundida №1 difiere fundamentalmente de las otras dos piezas de fundidas, porque contiene una alta cantidad de hierro. La cantidad de hierro se manifiesta por la presencia de grandes cantidades de fases intermetálicas de aguja gruesa de tipo $FeSiAl_5$, con tamaño de 30 a 70 micras (Figura 4a). La microestructura de la pieza fundida №2 (Figura 4b), así como la fundición №3 (Figura 4c), contiene fases intermetálicas ramificadas $AlFe(Si)Mn$ - de tipo “fuente china” con tamaño de 80-200 micras. En la pieza №3 se muestra una estructura dendrítica más claramente, lo cual se explica por el hecho de que el vertido se llevó a cabo en un estado líquido-sólido a alta velocidad de cristalización del metal en el molde.

Las fusiones experimentales de los residuos permitió determinar los rangos de los factores influyentes (frecuencia, es decir, el número de mediciones durante el tiempo de producción de las piezas, cantidad/día) para crear el nivel 1 del sistema de información – la base de datos (Figura 5).

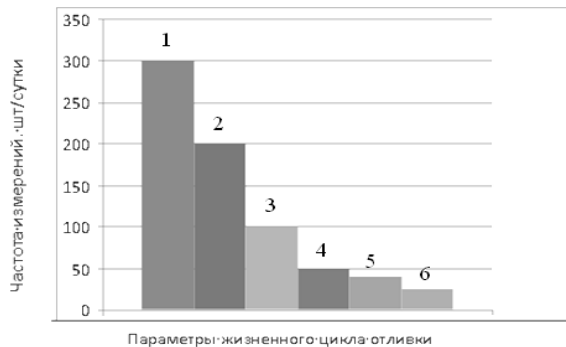


Figura 5 - Clasificación de los indicadores y parámetros en dependencia de la frecuencia de las mediciones: 1- masa; 2 – temperatura en todas las etapas del ciclo; 3 – composición química; 4 – cantidad de escoria; 5 – parámetros del sistema de enfriamiento; 6 – velocidad de fundición

La clasificación de los parámetros de monitoreo de la producción del "ciclo de vida" de piezas brutas de fundición teniendo en cuenta la frecuencia de sus medidas y los reajustes (número de mediciones por día) hizo posible el desarrollo de un algoritmo y la construcción de un modelo para un sistema de control de procesos inteligente basado en el diagnóstico de la situación tecnológica, con una selección de una muestra de aprendizaje para asegurar las operaciones dentro de los límites especificados (figura 6).

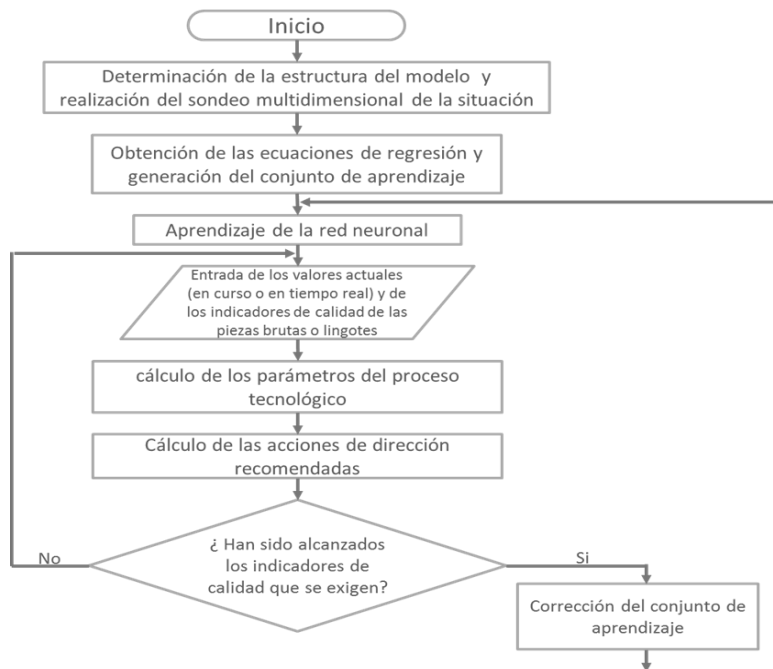


Figura 6- Algoritmo de funcionamiento del sistema inteligente del diagnóstico de la producción

El algoritmo de adaptación del modelo en el sistema de diagnóstico se basa en la actualización de los datos de salida contenidos en el conjunto de entrenamiento con los datos de entrada que vienen como resultado de la observación del proceso, y re-entrenamiento de la red, en el caso de que el error del diagnóstico de la situación tecnológica sea inaceptablemente alto. Gracias a esa combinación, el sistema adquiere la capacidad de derivar el diagnóstico de la tecnología desde la etapa inicial de su funcionamiento.

La comparación de las variantes de funcionamiento del sistema de diagnóstico de acuerdo con los criterios de exactitud, las demandas de recursos informáticos, la velocidad de desarrollo del sistema y su adaptación, hizo posible llegar a la conclusión que la más efectiva la posee la combinación de las opciones consideradas en el algoritmo de la figura 6, que a su vez, utiliza una red neuronal (figura 7).

En calidad de selección de aprendizaje de la red neuronal se ha propuesto el uso de los datos obtenidos de la observación o seguimiento del proceso tecnológico, que es equivalente a su utilización cuando se construye el modelo del proceso tecnológico con los datos experimentales.

El modelo neuronal del proceso tecnológico se implementa como un perceptron de tres capas que contiene 9 neuronas en la capa de entrada, 5 neuronas en la capa de salida y 25 neuronas en la capa oculta (figura 7). Donde X_1 indica la variación de la masa, X_2 la variación de la temperatura, X_3 el valor de la relación del contenido de Fe/Si, X_4 la velocidad de la colada y X_5 los indicadores del sistema de enfriamiento por agua. En tanto, Y_1 representa la salida de metal útil, Y_2 las inclusiones no metálicas, Y_3 las grietas de la superficie, Y_4 las propiedades mecánicas, Y_5 la calidad de la estructura, Y_6 la cantidad de escoria, Y_7 la emisión o salida de los gases, Y_8 el consumo de energía, Y_9 el consumo de materiales reciclados.

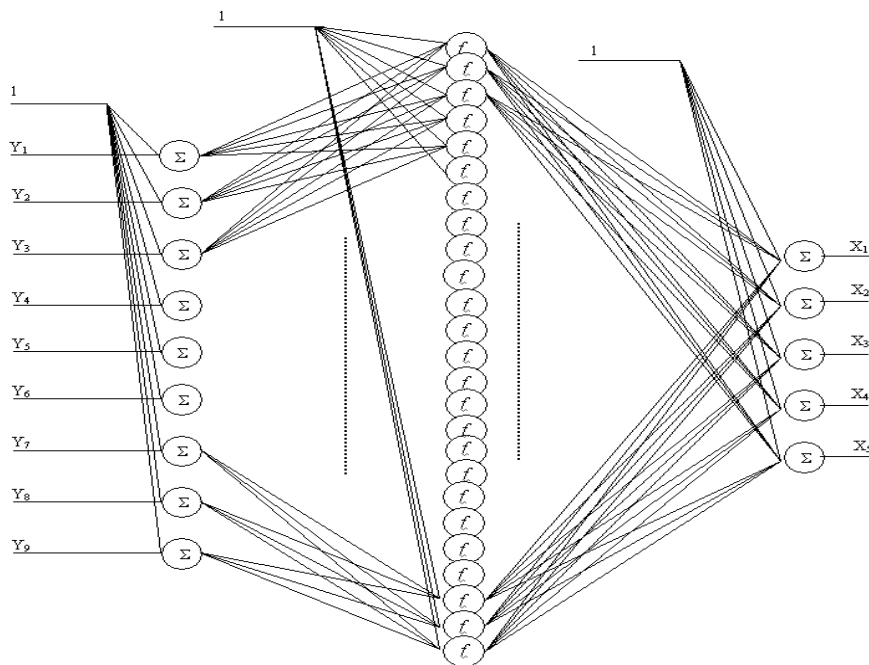


Figura 7- Estructura del modelo de red neuronal del proceso en el sistema de diagnóstico

De esta forma, el grado de contaminación de los desechos, la composición química primaria, el régimen de calentamiento preliminar antes de la fusión, los regímenes de temperatura y las condiciones de la colada (elección de los hornos) en el que se lleva a cabo, determinan el nivel de las características estructurales consecuentes de las piezas fundidas y su calidad. Los resultados experimentales son la base para el traspaso(traslado) de la colada(refundición) de materia prima secundaria recubierta de pintura, desde los hornos de reverbero hacia otros hornos con potencialidades tecnológicas superiores, tales como los de rotación inclinados(de tambor giratorio inclinado) y los de inducción.

Puede asegurarse que el aumento de la producción anual de metal útil (o de alto rendimiento), en el procesamiento de la chatarra de aluminio y de los residuos, así como su la calidad es proporcionada por el monitoreo automatizado, diagnóstico y pronóstico de la situación tecnológica sobre la base de la construcción de un sistema jerárquico de centralización del control.

Las tareas clave para el aumento de la calidad de la fundición son el seguimiento y control de procesos dentro de los límites prescritos, teniendo en cuenta los indicadores y parámetros de las materias primas, así como los regímenes de monitoreo continuo, la previsión de fallos de los equipos y la detección rápida (operativa) de materiales de calidad inferior. Estas tareas se resuelven con la ayuda de la aplicación de un sistema de centralización del control, integrado, en red (web), de varios niveles para controlar el proceso de producción de chatarra y procesamiento de residuos (sistema SCADA).

En el presente trabajo se propone el sistema patentado (SITDF) – Sistema informático para el apoyo a la toma de decisiones para la fundición, como punto de partida para la presentación de la

solución de programación multi-nivel integrada en un sistema SCADA para la regulación técnica y económica en todos los niveles del "ciclo de vida" del lingote fundido (Figura 8).

El método desarrollado permite el rápido procesamiento de la información y formar variantes racionales para la gestión de impactos sobre el sistema respaldado por el funcionamiento de su base de datos. Todas las operaciones se llevan a cabo durante el despliegue del sistema SCADA.

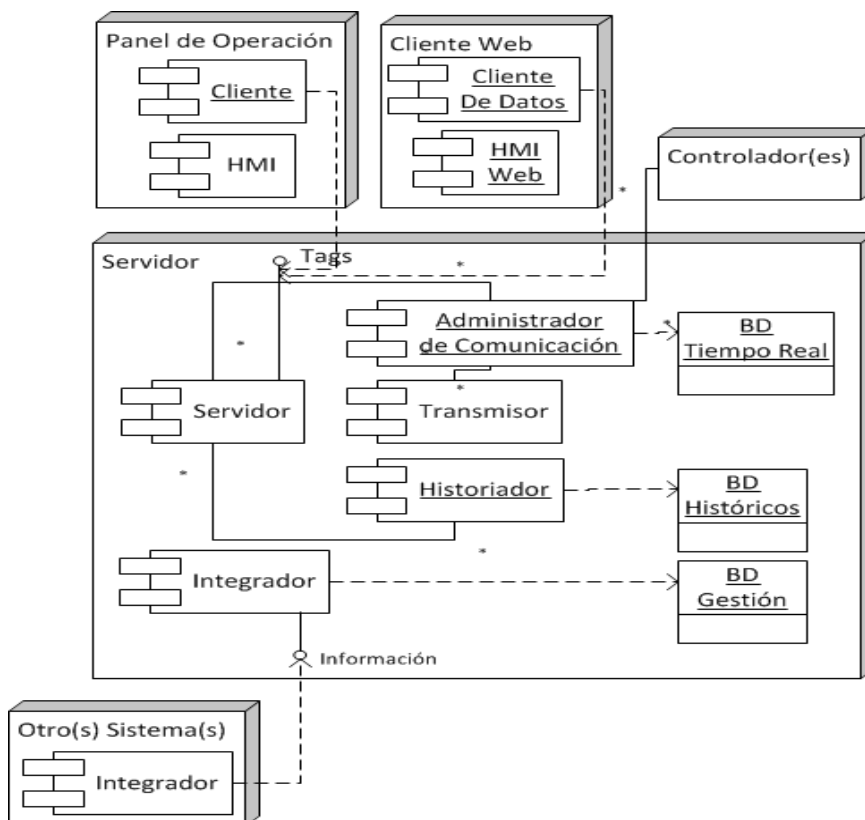


Figura 8– Diagrama de despliegue de los componentes de SITDF – SCADA

El sistema funciona como sigue. SITDF recibe los datos de los materiales de carga que están en el almacén (peso, composición química, categoría de la chatarra, y otros), del programa ConCal; y de los controladores del campo; luego proporciona una señal de salida (influencia controladora) con ajustes para el plan de producción y para el módulo de software de fusión y fundición. Desde el sistema se obtienen informes técnicos y resultados económicos de toda la

producción periódicamente (balance de materiales estimado actual, según norma) para el departamento comercial.

Para el desarrollo de los módulos de SITDF fue utilizado un método combinado de diseño estructural y orientado a objetos para la creación de prototipos funcionales de las tareas de gestión. Se utilizó además, el desarrollo de los modernos sistemas informáticos de control y red de telecomunicaciones construidos sobre la base de PLC - controladores lógicos programables para fijar la temperatura de los hornos), el controlador PID (control de la presión y de la sobrecarga de los sistemas de suministro eléctrico) y computadoras personales (para la transmisión y la conversión de datos).

El sistema de monitoreo que se menciona, poseedor de potentes recursos informáticos, permite realizar las siguientes tareas: visualización del estado de los elementos del sistema tecnológico; actualización de los parámetros del proceso en la base de datos y la programación (correspondencia entre los datos de la base de datos y los emitidos por los controladores en el campo para el control automático). Para el desarrollo del sistema se utilizó el Borland Delphi 5.7, que dispone de un potente entorno de desarrollo de aplicaciones visuales, y es una de las herramientas de desarrollo rápido de aplicaciones tales como RAD, con la utilización del compilador.

El sistema consta de 4 módulos básicos. El primero permite la recogida de datos primaria de primer nivel, relativamente fija (registro, pesaje, clasificación, secado, recocción o recocido). El segundo módulo se utiliza para recopilar información variable que se utiliza para la gestión técnica y económica. Con el tercer módulo se realiza el procesamiento de los datos utilizando el SQL (Structured Query Language) y se generan los informes para el análisis y el apoyo a la toma

de decisiones. El módulo 4 está diseñado para mostrar visualmente los resultados de los cálculos y presentar los gráficos de ayuda a la toma de decisiones.

Para trabajar con estos módulos, el sistema proporciona una salida de las siguientes ventanas: cuadro de diálogo de contraseña; el menú principal; formulario para introducir los datos primarios "fijos" y "variables" y otras (Figura 9).

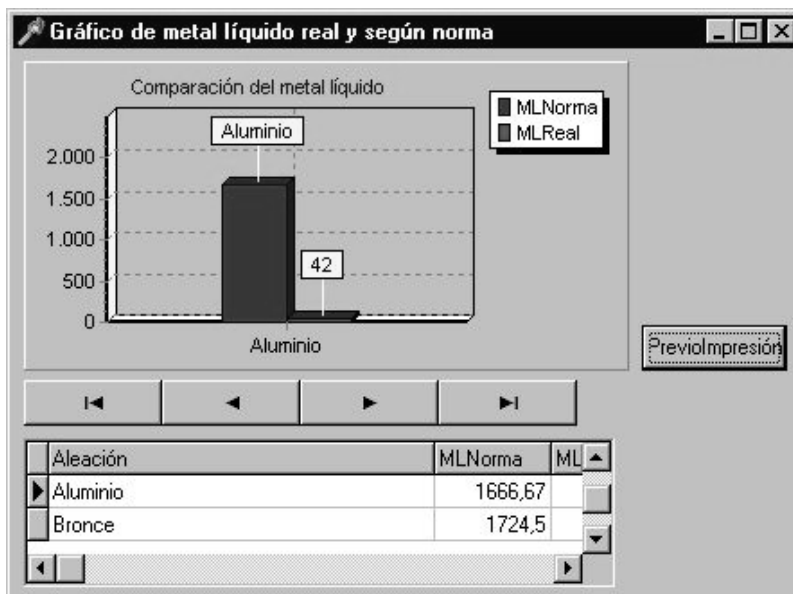


Figura 9- Interfaz de visualización de la información

Entre los parámetros que se visualizan en el monitor del sistema, para su control en tiempo real, están los siguientes:

- temperatura de la bóveda del horno mezclador
- temperatura del metal en el horno mezclador
- velocidad de marcha de la máquina de colada
- consumo del agua del sistema de refrigeración

- Velocidad de alimentación con la varilla cilíndrica de hierro modificadora
- longitud actual del lingote fundido

La recopilación de la información se realiza a través de 15 tablas normalizadas, 7 de las cuales son responsables de la recogida de los datos primarios fijos (de entrada) en la etapa de la preparación de la carga y de los parámetros variables durante la fusión y la fundición, que cambian en períodos de tiempo, tales como días, semanas y meses.

De esta forma en la tabla1 de primer nivel se guardan las características generales de los materiales de la carga y materiales auxiliares utilizados en el proceso de reciclaje. En la segunda (del nivel1) se archivan los datos de los materiales que intervienen exclusivamente en el proceso de fusión y moldeo, debido a que otros materiales utilizados no poseen estas características. En la tercera y cuarta tablas(del nivel1), son recogidos los datos de las aleaciones con la composición química actual. Las tablas 5-6 en el segundo nivel se utilizan para almacenar las normas y estándares de materiales de fusión que se controlan para cada aleación. En estas se almacenan la nomenclatura, el peso y la composición química, que se obtienen producto de la información obtenida mediante la supervisión del consumo de materiales que no participan en la fusión. En las tablas del tercer nivel, a través del sistema de telecomunicaciones se recibe el resumen principal de los hornos utilizados (metal útil anual; identificador de la fusión, denominación del horno, la capacidad del horno, el consumo de energía y materiales del horno). El flujo de la información recogida por cada nivel constituye la base para la obtención de los informes, en los que se observan la adecuación de los valores establecidos para apoyar las decisiones. La información secundaria incluye un conjunto de datos "fijos" y "variables" que pueden modificarse para la optimización.

De acuerdo con las investigaciones industriales experimentales(prueba piloto), el método de control del proceso tecnológico de selección del aprendizaje de la red neuronal para el procesamiento automático de los resultados de los procesos tecnológicos, su análisis y la formación de modelos probabilísticos en diferentes etapas del sistema de automatización jerárquica puede mejorar la eficiencia del proceso.

CONCLUSIONES

En el trabajo de tesis se presentaron los estudios teóricos y experimentales, a partir de los cuales se han obtenido y científicamente justificados los siguientes resultados:

1. Fueron fundamentados los principios y parámetros para la clasificación de la chatarra de aluminio y residuos de diversos grados de contaminación y su concordancia con el equipo de fusión que le corresponde.
2. Se estableció un esquema racional de los procesos de transición de los elementos de la carga en la masa fundida y se desarrollaron los métodos científicos para determinar las etapas de supervisión, previsión de la situación tecnológica y controlar los efectos del proceso de fusión en hornos bajo condiciones de equilibrio dinámico.
3. Se obtuvo la dependencia del efecto de la composición química y la calidad de los residuos y desechos en la estructura, propiedades y calidad de los productos de aluminio para la conversión eficiente de señales de datos en una acción de control en cada etapa del proceso tecnológico.
4. Se determinó que el grado de contaminación de la chatarra, la composición química primaria, las condiciones de calentamiento preliminares antes de la fusión, los regímenes de temperatura y las condiciones de fusión (selección de equipos de fusión, los hornos),

determinan el nivel de los rasgos estructurales hereditarios de las piezas fundidas y sus propiedades mecánicas.

5. Se elaboró el algoritmo y las reglas de control funcional de los regímenes de temperatura de los hornos de fusión usando controladores PID en condiciones de variación de la calidad de la materia prima.
6. Fueron determinadas las condiciones para el control automatizado de las etapas del proceso tecnológico (clasificación de chatarra, la preparación de la carga, fusión, refinado, el moldeo) para mejorar el rendimiento de metal anual mientras se reduce el número de defectos en piezas fundidas, y la clasificación de los indicadores (peso, temperatura, composición química, la velocidad de moldeo, etc.).
7. Creado el modelo de diagnóstico de red neuronal para identificar las conexiones entre los elementos de la producción mediante el reflejo de la variación del curso de los procesos de tratamiento de residuos de aluminio y la identificación de sus áreas problemáticas.
8. Fueron determinadas las condiciones para la supervisión automatizada del proceso con el objetivo de aumentar el metal útil anual al tiempo que se reduce el número de defectos en las piezas fundidas.
9. Fue diseñado el sistema de control centralizado de supervisión y adquisición de datos para la producción real de aleaciones de aluminio, que permite aumentar el rendimiento de la producción(metal útil anual).

Los resultados de las investigaciones teóricas y experimentales se presentaron en la XI conferencia Internacional científico-práctica "Búsqueda de la Ciencia en el mundo moderno",

2016, Moscú; 7mo seminario científico-técnico de toda Rusia "Interacción entre la ciencia y la producción metalúrgica en la fundición", 2016, Samara.

Sobre el tema de la tesis se publican 2 artículos en revistas incluidas en la lista de la Comisión Superior de Certificación del Ministerio de Educación y Ciencia de la Federación Rusa.

BIBLIOGRAFIA

1. Makarov G.S. Las tendencias mundiales en el campo de la transformación y utilización de aluminio secundario / Makarov G.S. //Tecnología de aleaciones ligeras. - 2004. № 1. Pag.25-30.
2. Golovnij N.V. Antecedentes del crecimiento de la producción de aluminio de Rusia / Golovnij N.V. Grigoriev V.G., Chiornij A.A., Ovcharenko V.L., Veselkov V.V.// Conferencia internacional "Estrategia de desarrollo de los recursos minerales del siglo XXI ". Moscú, 11-15 de octubre de 2004 –M.: RUDN. – 2004. Pag. 170-172.
3. Larionov, G.V. Aluminio secundario. – M.: Metalurgia, 1967. - 271 p.
4. Galevsky G.V. Metalurgia de aluminio secundario. Libro de texto. Galevsky G.V., Kulagin N.M., Mintsis M.J.. Nauka, Novosibirsk, 1998. - 368 p.
5. Vinogradov O. N. Fabricantes de la fundición en el 2005 / O. N. Vinogradov, V.M. Ezzhev // - K.: Soyuzlite, 2005. – 688 p.
6. Skorobogatov V.I. Estado del mercado del aluminio secundario / comercio exterior, №1, 2004. Pag.17-21.
7. Schlesinger M.E. Aluminum Recycling, CRC Press, Broken Sound Parkway, NW (2007). Pag. 158-181.
8. Fomin B.A. Metalurgia para la producción de aluminio secundario: Libro de texto / B.A. Fomin, V.I. Moskvitin, S.V. Májov. - M. // Economet, 2004. -295 p.
9. Erzmetall The European and global dimension of aluminium recycling at present and in future, Erzmetall, Clausthal-Zellerfeld, 2002.- 112 p.
10. Metal Supply y Ventas ¿Cómo desarrollar el reciclaje de aluminio? // Metal Supply y Ventas. -2004, №4. Pag. 64-66.
11. Fedorov V. A. Aluminio secundario, importante materia prima del siglo XXI. Revista Recursos secundarios № 4-5. Pag.58-60.

12. Biedenkopf, P. Herramienta avanzada para la fusión flexible y económica en la industria de metales no ferrosos, *Aluminio Internacional Hoy*, Redbill, 2004, -109 p.
13. Pawlek R.P. Secondary Aluminum Industry Annual Review// *Light metal Age*, August-2000. Pag. 13-20.
14. Klaus K. El reciclaje de aluminio: desde el material de base hasta la aleación terminada. M.: ASTSH, 2003. - 235 p.
15. Pinkham M. Big player aims higher still. IMCO Recycling, *Aluminium today*, June/July - 1999. Pag. 43-44.
16. Prospecto. ASEA Metalurgia «Worldwide noticias», № 5, 1983.
17. Kitz A.R. Problemas de utilización de la chatarra de aluminio. *Boletín metalúrgico*. -M: №2. 2016. Pag. 5-10.
18. Lokshin M.Z., Makarov G.S. Las tendencias actuales en el reciclaje de aluminio. // *Metales no ferrosos*. 2001.- №11. Pag.1-7.
19. Keverhijan V. The recycle of wrought aluminum alloys in Europe / Keverhijan V. // *J. Miner. Metals and Mater.Soc.* – 2002. 54. № 2. Pag.38-41.
20. Borisov Y. La saga de aluminio. *Fusiones y Absorciones / Boletín Metalúrgico de 2002*, №3. Pag.76-86.
21. The Aluminium Situation of the USA // *Aluminium*, 76 Jahrgang, 14- 2015. Pag.6-8.
22. Focus on secondary aluminum to intensify-Great Beaten / *Metal.Bull.* – 2015. № 8412. - 10 p.
23. RUSAL y aluminio secundario. / www.rusal.ru. [Fecha de consulta diciembre 2015]
24. Davydov V.G. Estado actual y algunos temas de actualidad de la utilización de aleaciones de aluminio // *metales no ferrosos*.-1999.-№ 8. Pag 49-53.
25. Schmitz C. *Handbook of Aluminium Recycling*, Vulkan-Verlag, Essen, Germany 2006. Pag 176-179.

26. Galevsky G.V. Ecología y utilización de los residuos en la producción de aluminio / G.V.Galevsky, N.M. Kulagin, M.J. Mintsis // - Novosibirsk: Nauka. Sib. Empresa RAN, 1996. - 146 p.
27. Schroers I. Automobile Recycling Today and Tomorrow. Light Metals 1994. Pag. 1129-1135.
28. Gorodnichi N.I. Fundición de metales no ferrosos y aleaciones. – M.:Metalurgia, 1989. - 103 p.
29. Deev V.B. La producción de aleaciones de aluminio / V.B. Deev. G.V. Galevsky, N.M. Kulagin, M.J. Mintsis, A.V. Feoktistov – M.:Flinta, 2006. - 288 p.
30. Schmitz K..Reciclaje de aluminio. AluCil. MVyT, 2008. -509p.
31. Goguing V.B. Desarrollo de la tecnología y equipamiento de la producción de aluminio fundido / V.B. Goguing, D.A. Shadayev // Tecnología de aleaciones ligeras. VILS. - 2007, № 4. Pag.83-85.
32. Alexandrov N. Producción de aluminio primario en el mundo y en Rusia // Metal y precios: Revista.-M: - 2008.- № 9. Pag. 4-10.
33. Deev V.B. Tecnologías eficientes de procesamiento de coladas durante la obtención de aleaciones de aluminio fundido / V.B. Deev, I.F. Silianin, Ri Hosen y otros. // Fundidor de Rusia. 2012. № 10. Pag. 14-17.
34. Shkliar M.S. Hornos de metalurgia no ferrosa secundaria. M: "Metalurgia", 1987. - 165 p.
35. Panfilov M.I. y otros. Reprocesamiento de la escoria y tecnología sin rechazos en la metalurgia. - M: Metalurgia, 1987. - 238 p.
36. Schultz L.A. Elementos de tecnologías sin residuos en la metalurgia: Libro de texto para las escuelas secundarias. - Moscú: Metalurgia, 1991. - 174 p.
37. Lisin V.S., Y.S. Yusfin Problemas ambientales y de recursos del siglo XXI y la metalurgia. – M.: Escuela Técnica Superior, 1998. - 447 p.

38. La fusión y fundición de aleaciones de aluminio. Manual editado por V.I. Dobatkin. M.: Metalurgia. 1983 - 351 p.
39. Altman M.B. Metalurgia de aleaciones de aluminio fundidas. M.: Metalurgia, 1972 -153 p.
40. GOST 1639-2009 «chatarra y desechos de metales de ferrosos y aleaciones. Condiciones técnicas generales».
41. El aluminio secundario en la república federal de Alemania // aluminio. 1990 66. №11. - 1041 p.
42. Mesa redonda NP Vtorotsvetmet. La correspondencia del aluminio 27 (Throb) según el GOST 1639-2009. - www.npvtorcvetmet.ru.
43. GOST 1583-93 "fundiciones de aleaciones de aluminio."
44. Especificación de chatarra no ferrosa. Circular 2004. Guía para la chatarra no ferrosa NF-01 (Especificación de la chatarra. Circular 2004 Directrices para la chatarra de metales no ferrosos NF-01). - 25 p.
45. Escherle, A. Application of pyrolysis in aluminium recycling, *Erzmetall*, Clausthal-Zellerfeld, 2004. Pag. 34-42.
46. Kurdyumov A.V. Pikunov M. V., Chursin V.- M. La producción de piezas fundidas de aleaciones no ferrosas. M.: Metalurgia, 1986, - 415 p.
47. Astapchik S.A., Volochko A.T., Ovchinnikov V.V. Principales formas de un tratamiento eficiente y utilización de residuos de aluminio (virutas, escorias) / S.A. Astapchik, A.T. Volochko, V.V. Ovchinnikov// ingeniero mecánico. 2006. №3 (32) .2. Pag. 23-30.
48. Ovchinnikov V.V. Tecnologías de ahorro de recursos en la producción metalúrgica. Principales direcciones de desarrollo / V.V. Ovchinnikov, P.N. Voitovicz // Técnica. Economía. Organización. Ahorro de recursos. 2003. №2. 2013. Pag. 24-29.

49. Volochko A.T. Acerca de secado térmico de desechos de virutas de las aleaciones de aluminio / A.T. Volochko, G.V. Markov, V.V. Ovchinnikov // Metalurgia de construcción de maquinarias. 2006. №2. 2008. Pag.12-16.
50. Postnikov N.S., Cherkasov V.V. Métodos progresivos de fundición y fundición de aleaciones de aluminio. M.: Metalurgia, 1973.- 108 p.
51. Popovich T.A. Trituradora de Metso Lindemann. Boletín Mesto / №10, 2013. Pag. 2-4.
52. Khudyakov I.F. La tecnología de metales secundarios no ferrosos / I.F. Khudyakov, A.P. Darashkevich, S.E. Klein et al. // libros de texto para las escuelas. -M: Metalurgia, 1981 - 208 p.
53. Diomidovsky D.A. hornos metalúrgicos de la metalurgia no ferrosa. M.: Metalurgia, 1970. - 702 p.
54. Bredikhin V.N. Hornos modernos para la preparación de chatarra y residuos de metales no ferrosos/ V.N. Bredikhin, B.I. Demedyuk // industria metalúrgica y minera. - 2002, № 4. Pag.34-39.
55. Popov V.A. Características organizativas y tecnológicas de la producción de aleaciones de aluminio / V.A. Popov, N.A. Maniak, V.N. Bredikhin // trabajos científicos de la Universidad Técnica Nacional de Donetsk, Metalurgia, 2011. Pag. 2-10.
56. Andreev A.D., Goguin V.B., Makarov G.S. Fusión altamente productiva de aleaciones de aluminio. M.: Metalurgia, 1980, - 136 p.
57. Makarov G.S. Máquinas de fusión y dispensación del futuro. // Metales no ferrosos. 1983. №6. Pag. 80-83.
58. Meshkov M.A., Kolesov V.B. Los recientes avances en el campo de fusión y de refinación de aleaciones de aluminio. / Manual de trabajo. M.: Instituto de Investigación Científica Impulso. 1982. № 12. Pag. 17-21.

59. Meshkov M.A., Malinovski V.S., Nikiforova N.A. Formas innovadoras de perfeccionamiento del proceso de fusión de las aleaciones de aluminio. / Manual de trabajo. M.: Instituto de Investigación Científica Impulso. 1985. №41. Pag. 12-16.
60. Andreev A.D. Goguin V.B., Makarov G.S. - Fusión altamente productiva de aleaciones de aluminio. M.: Metalurgia. 1980, Pag. 128-130.
61. Meshkov M.A. Fusión de plasma y por inducción de aleaciones de aluminio. // Tecnología de aleaciones ligeras. 2000, №3. Pag. 16-17.
62. Meshkov M.A. Características del proceso de fusión de aleaciones de aluminio en el horno de arco eléctrico de corriente continua // metales no ferrosos. 2000. №8. Pag.130-131.
63. Malinovski B.S., Dubinskaya F.E. Equipamiento y tecnología de fusión de aleaciones de aluminio en el horno de arco de corriente continua. // Producción fundida. 1995. № 2. Pag. 16-19.
64. Novichkov S.B. Teoría y práctica del reciclaje de aluminio en los hornos rotatorios inclinados. Tesis doctoral. Irkutsk; 2008. - 221 p.
65. Meyer, H.J. Use of regenerative heating technologies at aluminium melting and aluminium recycling furnaces, Heat Processing, Essen, 2012, Pag.78-90.
66. Tkachenko A.V. Teoría y tecnología de fusión: Conferencias "Maquinarias y Tecnología de la fundición" / A.V.Tkachenko, O.L.Yushkina.- Gomel: GGTU. P. O. Suhogo, 2009. - 67 p.
67. Kulikovskii, K.L. Métodos y medios de medición: Libro de texto para las escuelas / K.L. Kulikovskii, B. J. Cooper. – M.: Energoatomisdat, 1986.
68. Malyshev V.I. Introducción a la espectroscopia experimental. M.: Nauka. 1979 - .241p.
69. Gaustad G. Resources, Conservation and recycling. No. 58 (2012). Pag. 79-87.
70. Friedlander I.N. Aleaciones para la construcción con aluminio forjado. – M.: Metalurgia, 1979. - 208 p.

71. Norma estatal internacional GOST 1639-2009 "chatarra y desechos de metales y aleaciones ferrosas. Condiciones técnicas generales" (puestas en acción por orden de la Agencia Federal de Regulación Técnica y Metrología el 9 de julio 2010 N 175-st) /.
72. Schroeter B., Lautenshleger K.H., Bibrak H., Manual. Química, 2000. - 256 p.
73. Mediciones tecnológicas e instrumentos para la industria química: Libro de texto para las escuelas secundarias en "La automatización y mecanización compleja de procesos químico-tecnológicos", ed. M.V. Kulakova., 3ª ed., Rev. y ext. –M.: Construcción de maquinarias, 1983.- 424 p.
74. Control y diagnóstico no destructivo: un manual / Klyuev V.V. [y otros.] M.: Construcción de maquinarias, 2005. - 657 p.
75. Brindley, K. Transformadores de medición: material didáctico: traducido del Inglés. / K. Brindley. -M.: Energoatomisdat, 1991. - 144 p.
76. GOST 7727-81 Aleaciones de aluminio. Métodos de análisis espectral.
77. Patente de la Federación Rusa №2008644. Método de toma de muestras de metal y la instalación para su aplicación. Autores: O.I. Veselovský, U.N. Gerzhan.
78. Napalkov V.I. Aleación y modificación de aluminio y de magnesio / V.I. Napalkov, S.V. Májov. M.: MISIS, 2002.- 376 p.
79. Manual didáctico. La fusión y colada de metales no ferrosos y aleaciones. Ed. A. Merfi, M.: Metalurgia. 1959.- 646 p.
80. Korolkov A.M. Propiedades de fundición de los metales y aleaciones. – M.: Nauka. 1967. - 199 p.
81. Andreev A.D. Goguing V.B., Makarov G.S. El desarrollo de tecnologías de fusión de aleaciones de aluminio forjado. / A.D.Andreev, V.B. Goguing, G.S. Makarov // Tecnología de aleaciones ligeras.№10.1981. Pag.34-41.
82. Kuritnyk I.P. Materiales de alta temperatura termométrica / I.P. Kuritnyk, G.S.Burhanov, B.I. Stadnyk // - M.: Metalurgia, 1986. - 98 p.
83. Norma estatal standard de la Federación Rusa GOST R8.585-2001. GSOEI. Termopares. Características estáticas de conversión nominales. Moscú, Editorial de Normas, 2002.

84. Thiel, R. Mediciones eléctricas de magnitudes que no sean eléctricas / traducido del alemán por I.P. Kuzhekina. - 2^a ed, revisado. y ext. – M.: Energoatomizdat, 1987.- 345 p.
85. Markov N.N. Error y selección de los medios para mediciones lineales / N.N. Markov, G.V. Keiner, P.A. Satserdotov – M.: Construcción de maquinarias, 1967. - 392 p.
86. Bodener V.A. Instrumentos de información primaria: / V.A. Bodener – M.: Construcción de maquinarias, 1981.- 156 p.
87. Shishmarev V.Y. Mediciones técnicas e instrumentos. Academia 2012. - 384 p.
88. Skhirtladze A.G. Metrología, normalización y mediciones técnicas / A.G. Skhirtladze, J.M. Radkevich – Antigua escuela, "TNT", 2010. - 420 p.
89. Kolachev B.A. Metalurgia y el tratamiento térmico de metales no ferrosos y aleaciones / B.A. Kolachev, V.I. Elaguin, V.A. Livanov. 3^a ed. M.: MISIS, 2001. -416 p.
90. Elaguin V.I., Zakharov V.V., Rostov T.D. Metalurgia, fundición y elaboración de aleaciones – M.: VILS, 1995 - 249 p.
91. Bratukhin A.G., Boyko V.V. Borisov Y.D. y otros. Concepto industrial de aseguramiento de la calidad de la producción. Biblioteca del departamento de la industria de aviación. M.: NIAT, 1991.-161 p.
92. Shinskiy O.I. Tecnología de la información para el control remoto operativo del estado de los objetos de la fundición de / O.I. Shinskiy, B.M. Shevchuk, V.P. Kravchenko, I.O.Shinskiy // procesos de fundición. 2007. № 2. Pag. 117-125
93. Kuzmina I.A. Desarrollo de sistemas de automatización de SCADA a MES sobre la base de la tecnología moderna de Invensys Wonderware / I.A. Kuzmina, A.D. Pavlyuchenko // Automatización de la producción. №7. 2007. Pag.22-26.
94. Putmakov A.N. Nuevas características de instrumentos espectrales modernos / A.N. Putmakov, V.I. Popov, V.A. Labusov, A.V. Borisov//Laboratorio de fábrica. Diagnóstico de materiales, 2007. Espec. graduados. T.73. Pag. 26-32.

95. Graal, I. Potential for increasing fuel efficiency for aluminium melting furnaces, Heat Processing, Essen, 2005. Pag. 23-34.
96. Ibragimov V.E. La fusión de la chatarra de pared delgada con cubierta de pintura para la obtención de aleación de aluminio / V.E. Ibragimov, García L.M., V.Y. Bazhin // Revista científico Investigativa Internacional. №1 (18), Parte 2, 2016. Ekaterinburg. Pag.62-65.
97. Hazan G.L. Diagnóstico del estado del proceso multifactorial / G.L. Hazan, A.G. Babenko, V.Y. Bazhin // Fusiones. 2006. № 1. Pag. 28-35.
98. Mondolfo L.F. Estructura y propiedades de las aleaciones de aluminio / L.F. Mondolfo [et al.] traducido del Inglés; M.: Metalurgia, 1979.- 639 p.
99. Nikitin V.I. Herencia o Consecuencia en aleaciones fundidas / V.I. Nikitin, K.V. Nikitin. – 2da Ed., revisada. y ext. M.: Construcción de maquinarias- 1, 2005. - 476 p.
100. Baranov M.V. Poros y defectos en papel de aluminio y chapas de aleaciones de aluminio // M.V. Baranov, V.Y. Bazhin / Tutorial. Ekaterimburgo: HPE Universidad Técnica Estatal del Ural SEI, 2006. -126 p.
101. Nikitin V.I. Creación de tecnologías innovadoras basadas en el fenómeno de la herencia estructural de las aleaciones no ferrosas / V.I. Nikitin, K.V. Nikitin // Metales No Ferrosos de Siberia: Materiales del Ier Congreso Internacional. Krasnoyarsk: SFU. 2009. Pag.193-198.
102. Dzhilavdari I.Z. Aparición del error casual aleatorio aditivo Fundamentos físicos de las mediciones. - Universidad Técnica Nacional de Minsk Bielorrusia, 2003. - 116 p.
103. Meyer H.J. Use of regenerative heating technologies at aluminium melting and aluminium recycling furnaces, Heat Processing, Essen, 2004. Pag. 123-140.
104. Lisienko V.G. Construcción del sistema de control de calidad de artículos de papel de aluminio, fabricados por el método de colada continua / V.G. Lisienko, G.L. Hazan, A.G. Babenko, V.Y. Bazhin // análisis de energía y efectividad. 2006. № 7 (20). Pag. 36-39.

105. Babenko A.G. Métodos alternativos de diagnóstico del estado del proceso multifactorial / A.G. Babenko, G.L. Hazan, V.G. Lisienko, V.Y. Bazhin // Fundiciones. 2006. № 4. Pag. 77-81.
106. Bazhin V.Y. Gestión por medio de la formación de la estructura cristalina de las piezas de papel de aluminio / V.Y. Bazhin // Fundiciones. 2006. № 4. Pag. 60-64.
107. Bazhin V.Y. Monitoreo y automatización del proceso de separación del laminado de tiras de aluminio / V.Y. Bazhin, García L.M. // La interacción de la ciencia y de la fundición y la producción metalúrgica: Materiales del 7mo seminario científico-técnico de toda Rusia [Edición Electrónica] /. Edit. prof. V.I. Nikitin. - Samara: Samara. Universidad técnica estatal, 2016. Pag.261-270.
108. García L.M. Automatización de los procesos de gestión de la fundición en la empresa industrial de la República de Cuba / L.M. García, Nikolaev A.K. // Compañía "Alcor" PI,-M.: revista "revisión científica", 2015. № 22. Pag. 399-403.
109. Bazhin V.Y. Los problemas de procesamiento complejo de residuos de aluminio / V.Y. Bazhin, García L.M. // XI Conferencia internacional "Búsqueda científica en el mundo moderno", Parte 1 (26 de enero, 2016). - M: OOO "Aprovacia", 2016. Pag.36-40.
110. Zemelman M.A., N.P. Planificación de mediciones técnicas y evaluación de sus errores. - M.: Editorial de Normas, 1979. - 80 p.
111. García L.M. Sistema informático de apoyo a la toma de decisiones para la fundición: SITDF / L.M. García // Revista "Minería y Geología" ISSN: 1993 8012 2003 Cuba.