

Recuperación de aleación Sn-Pb de escorias provenientes de procesos de Soldering

Recovery of Sn-Pb alloy from slag of soldering process

Presentación: 08/09/2023

Guillermo A. Mayorga

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Córdoba
mayorgagai99@gmail.com

Santiago M. Cantero

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Córdoba

Juan Cruz Jauregui

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Córdoba

Roberto O. Lucci

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Córdoba

Resumen

En este trabajo se presentan resultados del estudio y desarrollo de un proceso de recuperación de una aleación comercial de Estaño-Plomo (Sn-Pb), a partir de desechos peligrosos, proveniente de escorias generadas en el proceso de soldadura por ola de circuitos impresos. Se lleva a cabo un proceso de reciclado a partir de un método pirometalúrgico, mediante fusión en horno eléctrico, separación de metal-escoria y posterior colado en lingotes. Se constatan condiciones iniciales de la materia prima, efecto de las variables de proceso de reciclado y la calidad química y metalográfica de las aleaciones recuperadas.

Palabras clave: Soldering; Reciclado; Recuperación; Estaño; Plomo.

Abstract

This work presents results of the study and development of a recovery process of a commercial Tin-Lead (Sn-Pb) alloy, from hazardous waste, coming from slag generated in the wave soldering process of printed circuits. A recycling process was carried out using the pyrometallurgical method, by fusion in an electric furnace, separation of metal-slag and subsequent casting into ingots. The initial conditions of the raw material, the effect of the recycling process variables and the chemical and metallographic quality of the recovered alloys are confirmed.

Keywords: Soldering; Recycle, Recovery, Tin, Lead

Introducción

El ensamble de componentes sobre plaquetas electrónicas, suele ser realizado por procesos de soldadura blanda o Soldering [1]. En este tipo de procesos, el material de aporte utilizado son frecuentemente aleaciones eutécticas de Estaño-Plomo (63-37), debido a su baja temperatura de fusión [2]. Pero durante el proceso, el mismo

se suele oxidar debido a la exposición atmosférica del líquido; lo que genera una constante oxidación y formación de escoria la cual debe ser removida mecánicamente con frecuencia [3].

En nuestra región, las empresas dedicadas a la fabricación de placas mediante soldadura por ola, emplean principalmente aleaciones de la familia Sn-Pb [4]. El principal subproducto que se genera en dicho proceso de soldadura, son escorias compuestas por una combinación de óxidos y restos de la aleación de Sn-Pb que quedan atrapadas entre dichos óxidos. La escoria se genera por reacciones con el oxígeno presente en la atmósfera del aire y la aleación de Sn-Pb empleada en estado líquido para la soldadura. El grado de oxidación con la que se presenta el residuo en forma de escoria depende de muchos factores: temperatura, superficie específica del metal, concentración de oxígeno, concentración de humedad en el aire, composición química de la soldadura, la presencia o ausencia de atmósferas protectoras durante la soldadura, entre otras [5]. Además, la densidad de la escoria y la aleación son muy similares, lo que provoca una separación lenta entre ellas, una vez generada durante el proceso de soldadura. Por lo general, la escoria no está relacionada con las impurezas, sino más bien con las tasas de oxidación (aunque algunas impurezas como el aluminio y el zinc aumentan las tasas de escoria debido a su rápida oxidación) [6]. Esto conlleva a que, durante la remoción de la escoria, también se remueva aleación ocluida en esta, como se aprecia en la figura 1.



Figura 1. Condición del residuo previo al proceso de reciclaje.

Debido a varios factores como, el costo de la aleación, ser un residuo peligroso para la legislación argentina y la factibilidad técnica propuesta en etapas tempranas del proyecto se plantea como objetivo general: el desarrollo de un proceso pirometalúrgico en el cual se busca segregar la aleación de Sn-Pb de la escoria, para obtener lingotes de esta aleación con el fin de ser insertados nuevamente como materia prima del proceso de soldering.

Materiales y métodos:

El material de partida es una mezcla sólida conformada por escorias y restos metálicos ocluidos dentro de la misma, como se observa en la figura 1.

Como medio de calentamiento, para el proceso pirometalúrgico, se utiliza un horno eléctrico. Este tiene una potencia de 3.6KW, calefaccionado por resistencias eléctricas, con capacidad de calentamiento hasta 1200 °C, equipado con termocupla tipo K y controlador programable, que permite cubrir los rangos de temperatura empleados en el proceso de reciclado. Previo al uso, el horno es reacondicionado en la instalación eléctrica que lo vincula con el controlador y verificado mediante una termocupla patrón en donde se registra un error de +/- 5 °C. Como crisol se utiliza un recipiente de morfología tubular de acero al carbono (SAE 1020).

El cálculo del rendimiento del proceso de recuperación se realiza por pesaje del material de entrada y el reciclado, en donde se utiliza una balanza de tipo comercial con un rango de 0 a 32 kg y apreciación de 5 g.

Con el fin de analizar características de la microestructura y composición química de la materia prima (escoria inicial), productos resultantes del proceso de re-fusión de las escorias y escorias finales, se utiliza un microscopio óptico acoplado a una cámara MOTIC 5.0 y un microscopio electrónico de barrido Carl Zeiss Sigma.

Debido a la toxicidad de los polvos y gases productos del proceso de fusión, se debieron utilizar una variedad de elementos de protección personal (EPP) para reducir al mínimo el impacto en la salud. Con este fin, se emplean máscaras con filtros de polvo, antiparras y guantes. Asimismo, para evitar salpicaduras de metal líquido, se trabajó con prendas que cubrieran el cuerpo.

El proceso de recuperación de la aleación Sn-Pb de las escorias se detalla en el diagrama de flujo de la Figura 2. Se comienza en la planta del cliente, donde se genera la materia prima (Cliente M.P.). Luego, este material se transporta al laboratorio de la facultad (Transporte 1) y se almacena para su tratamiento posterior (Almac. 1). El proceso pirometalúrgico implica la carga de las escorias en un horno, seguida de la fusión y agitación registradas en una hoja de trabajo. Después de la fusión, el metal líquido se vierte en lingotes que se pesan y registran. Los lingotes se someten a inspección visual y a controles adicionales, como macrografía, microscopía y análisis químico. Los lingotes de aleación recuperada se almacenan y la escoria se separa como subproducto. El subproducto de la primera fusión se tamiza para recuperar más aleación retenida. Este material tamizado se pesa y se carga nuevamente en el horno para una segunda fusión (2da Fusión) con agitación. Los lingotes y la escoria resultantes se almacenan en el Laboratorio de Ingeniería Metalúrgica (Almac. 3) y luego se transportan de regreso al cliente para su tratamiento final (Transporte 2). Los lingotes del tamizado se inspeccionan por lotes y se recopilan los datos en una hoja de trabajo, luego se trasladan a un formato digital en una planilla de cálculo de Excel para su análisis estadístico (Base de datos o B.D.).

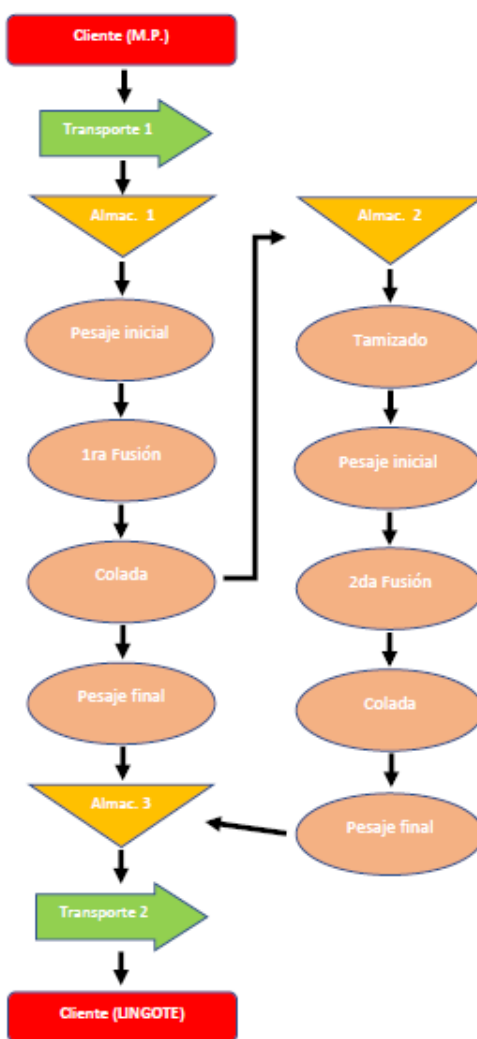


Figura 2. Diagrama de flujo del proceso de recuperación.

Resultados y Discusión:

Se constata un valor promedio de recuperación del 51 %, valor obtenido del análisis de 40 coladas realizadas. El peso promedio de productos obtenidos por colada es de aproximadamente 3,3 Kg.

Los principales parámetros observados en esta investigación son temperatura, tiempo y agitación. A continuación, haremos mención a cada uno de ellos:

Temperatura

En lo que respecta a temperatura se observa un aumento de recuperación con el incremento de la misma. La tabla 1 muestra los resultados obtenidos de las tres principales temperaturas empleadas. Luego de las pruebas, se constata que la temperatura en la que se observa el mayor porcentaje de recuperación es 600 ° C, siendo la temperatura seleccionada para el proceso. Por otro lado, por debajo de 350 ° C no se observan buenos porcentajes de recuperación, siendo esta una temperatura mínima para tener recuperaciones aceptables.

Temperatura [°C]	Coladas consideradas	Porcentaje de recuperación [%]
350	11	46
450	15	54
600	10	57

Tabla 1. Recuperación en función de la temperatura.

Tiempo

Inicialmente se considera la variable tiempo como relevante, sin embargo, no se observaron variaciones significativas en el porcentaje de recuperación obtenido. Durante las experiencias, con el avance del tiempo se forma una escoria de carácter compacta, con lo que, la aleación líquida aún atrapada dentro de la misma, no puede unirse al baño de metal fundido en el fondo del crisol. Como regla general, se establece un tiempo de mantenimiento dentro del horno de la carga de 50 minutos como mínimo. Este tiempo se establece con el fin de llevar a cabo las diferentes etapas de agitación y homogeneización del baño líquido.

Agitación

En lo que respecta a agitación no se observan diferencias sustanciales entre diferentes tiempos de agitación durante el proceso, como así tampoco se logran mejores resultados con el aumento de la frecuencia de agitación en el lapso en el cual se mantiene la carga a temperatura de trabajo. Por lo mencionado anteriormente, se establecen dos etapas de agitación dentro de los 50 minutos de mantenimiento de la carga dentro del horno. La primera agitación a los 20 minutos y la segunda a los 40 minutos. Dejando reposar 10 minutos después de la segunda agitación. Este tiempo después de la segunda agitación es para conseguir una separación por densidad del metal fundido y la escoria, asegurando bajo contenido de escorias en los lingotes.

Se realiza una inspección visual de los lingotes producidos, identificando diferencias entre productos aceptables y no conformes, principalmente relacionadas con la presencia de escorias. Se resalta la importancia de la inspección visual debido al riesgo de contaminación en el proceso de soldadura. Además, se lleva a cabo un análisis macrográfico que revela una estructura característica de solidificación en lingotes, con granos columnares y diferencias de velocidad de enfriamiento como se observa en la Figura 3.



Figura 3. Imagen macrográfica de una sección transversal del lingote.

Se realiza también un análisis micrográfico de las escorias iniciales, destacando la presencia de elementos no deseados que deben ser controlados en la aleación recuperada. La microestructura presente se detalla en la figura 4. Está formada por el constituyente eutéctico de Sn(β) y Pb(α), con morfología laminar y distribuidos homogéneamente.

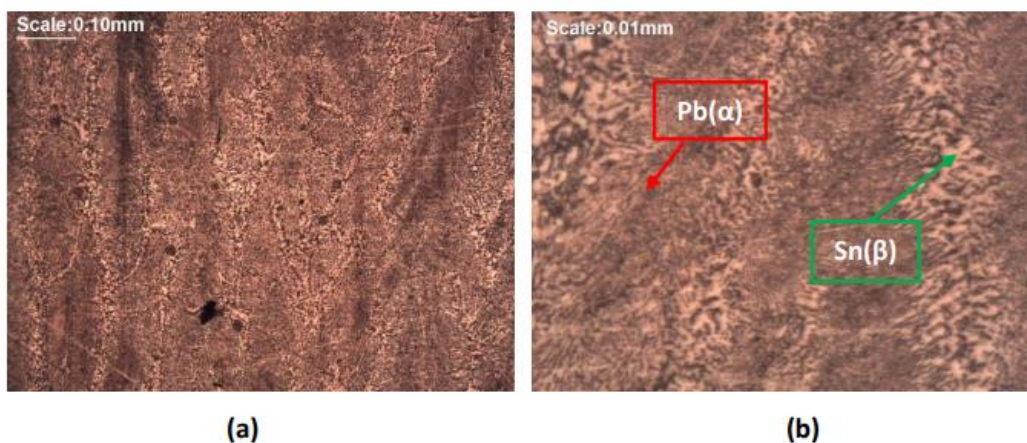


Figura 4. Imágenes micrográficas de la aleación recuperada. (a) Magnificación: 100x. (b) Magnificación: 500x. Reactivo: Nital 3 %.

La figura 5 muestra un análisis metalográfico por microscopía electrónica de barrido con espectroscopía dispersiva de rayos X (SEM-EDS). La figura 30a muestra la zona de análisis y una reconstrucción por colores del mapa de distribución química elemental sobre dicha sección de análisis. La figura 30b muestra la distribución química de cada elemento químico encontrado en la sección analizada.

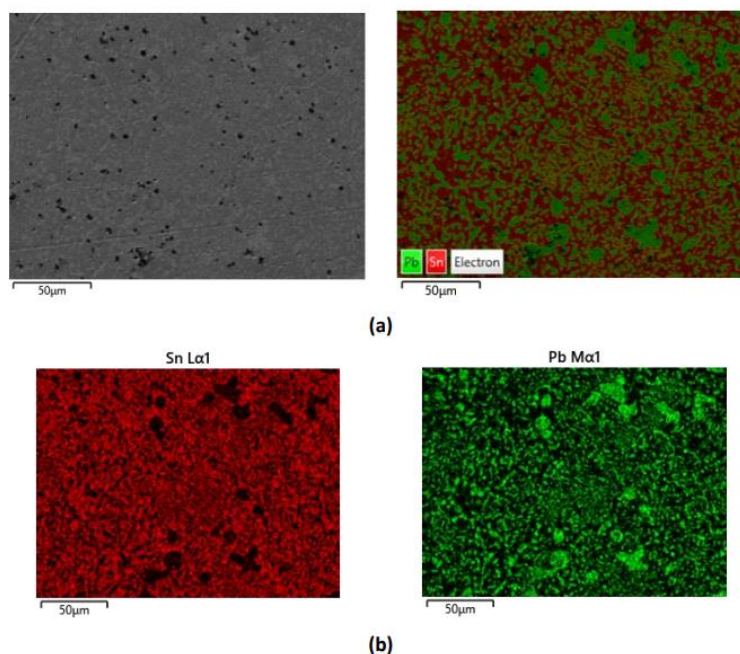


Figura 5. Imágenes SEM-EDS de un lingote reciclado. (a) Sección de análisis y reconstrucción por colores de los elementos presentes. (b) Mapas de distribución de cada elemento químico presentes

La tabla 2 indica la composición química de referencia para la aleación Sn67Pb37 y los resultados de análisis químicos de algunos de los lotes que fueron que fueron muestreados para este análisis. En donde se observa que se mantienen los porcentajes de los elementos principales de la aleación dentro de la especificación de referencia.

Muestras	Sn [%]	Pb [%]	Sb [%]	Cu [%]	Cd [%]	Al [%]
Lote 102900	63,1	Resto	0,10	0,01	0,001	0,001
Req.	62,5 63,5	Balance	0,20 Máx.	0,08 Máx.	0,002 Máx.	0,005 Máx.

Tabla 2. Resultados de composición química

La figura 6 muestra imágenes de los lotes de lingotes reciclados, en condiciones de suministro para el cliente.



Figura 6. Lingotes producidos.

Por último, en la figura 7, se muestra la morfología de las escorias finales resultantes. Presentan un tamaño más homogéneo, en relación con la materia prima (figura 1). Así mismo el contenido de aleación recuperable es significativamente menor que en la materia prima. Sin embargo, aún se mantiene ocluidos restos de aleación reciclable con un gran potencial de recuperación.



Figura 7: Aspecto de la escoria posterior al proceso de recuperación.

Conclusiones

Se logra establecer un proceso pirometalúrgico para tratar los residuos generados en el proceso de soldadura por ola para placas de circuitos impresos. Asegurando, bajo las condiciones establecidas, un producto satisfactorio, tanto técnico como económico.

El parámetro que tiene mayor influencia es la temperatura de trabajo, siendo una variable secundaria el tiempo.

El proceso de agitación mecánica del baño líquido durante el proceso de fusión, mejora la recuperación de la aleación.

Se logra determinar el rendimiento promedio del proceso de reciclado con un 51 % de recuperación de la aleación.

La microestructura y composición química de la aleación recuperada cumplen con las especificaciones del producto.

La composición química de las nuevas escorias producidas por el proceso de reciclado, muestran la existencia de elementos que aún podrían ser recuperados, mejorando así los rendimientos del proceso.

Referencias

- [1] Tecnología de montaje superficial. Soldadura SMT por ola. Recuperado el 21 de junio de 2021. <https://tecnologiademontajesuperficial.es.tl/SOLDADURA-SMT-POR-OLA.htm>.
- [2] Ning-Cheng Lee and Mike Bixenman (2002). Lead-Free: How Flux Technology Will Differ For Lead-Free Alloys & Its Impact On Cleaning. Conference: Electronics Manufacturing Technology Symposium, 2002. IEMT 2002, 27th Annual IEEE/SEMI International, DOI:10.1109/IEMT.2002.1032772.
- [3] Karl J. Puttlitz and Kathleen A. Stalter. Handbook of Lead-free Solder Technology for Microelectronic Assemblies, New York, Marcel Dekker, Inc., 2009.
- [4] Eutectic solder. FCT Solder. Recuperado el 21 de junio de 2022. <https://fctsolder.com/eutectic-solder/>.
- [5] Karl J. Puttlitz and Kathleen A. Stalter. Handbook of Lead-free Solder Technology for Microelectronic Assemblies, New York, Marcel Dekker, Inc., 2009.
- [6] Carl J. Tautscher (1991). Contamination Effects on Electronic Products. MARCEL DEKKER INC. NEW YORK, EEUU.