

**РЕЦИКЛАЖА И ОДРЖИВИ РАЗВОЈ**  
**UDK 628.477.6.045:669.58**  
*Научни рад*

---

Технички факултет у Бору – Универзитет у Београду, В.Ј. 12, 19210 Бор, Србија  
Катедра за минералне и рециклажне технологије  
Тел. +381 30 424 555, 424 556, Фак. +381 30 421 078

---

**МЕТОДЕ РЕЦИКЛАЖЕ ТЕШКИХ МЕТАЛА ИЗ ЧВРСТОГ ОТПАДА ПОГОНА ЗА  
ТОПЛО ЦИНКОВАЊЕ**

**HEAVY METAL RECYCLING METHOD FROM SOLID WASTE IN HOT DIP  
GALVANIZING PROCESSES**

**Војка Гардић<sup>##</sup>, Бисенија Петровић<sup>\*\*</sup>, Татјана Апостоловски-Трујић<sup>\*</sup>,  
Александра Ивановић<sup>\*</sup>, Љубиша Мишић<sup>\*</sup>**

<sup>\*</sup>Институт за рударство и металургију, Зелени булевар 35, 19210 Бор, Србија

<sup>\*\*</sup>Институт за испитивање материјала а.д., Булевар војводе Мишића 43,  
11000 Београд, Србија

---

**ИЗВОД**

Модерна еколошка индустрија, ради побољшања квалитета и заштите животне средине обавезно у ток свог поступка укључује и прикупљање и безбедно складиштење отпада који настаје током индустријског процеса, као и могућност поновне употребе метала из отпада. Да би се реализовале тежње за побољшањем и заштитом животне средине, неопходно је да и индустрија и друштво заједно учествују у остварењу тог циља, рециклажом и регенерацијом метала из секундарних сировина, чиме се губици материјала своде на минимум. Цинк је метал који је могуће рециклирати, слично другим металима, и чак 80% расположиве рециклиране количине цинка се поново користи, што представља 30% количине цинка присутне на тржишту. Процес рециклаже и регенерације метала, као и његова поновна употреба битна је и са тачке смањења утицаја на животну средину и са економске тачке гледишта. У раду су приказане различите методе које се могу применити за рециклирање цинка из чврстог отпада.

**Кључне речи:** топло цинковање, чврсти отпад, рециклажа.

**ABSTRACT**

Modern environmental industry, in order to improve the quality and environmental protection required in the course of its proceedings and includes the collection and safe storage of waste that occurs during industrial processes, as well as the possibility of re-use of metals from waste. To realize the goal of improving and protecting the environment, it is necessary to industry and society work together in achieving this goal, regeneration and recycling of metals from secondary raw materials, which reduce material losses to a minimum. Zinc is a metal that can be recycled, like other metals, and even 80% of available amount of recycled zinc is re-used, which represents 30% the amount of zinc present in the market. The process of recycling and regeneration of metal, as well as its re-use is important and the point of reducing impact on the environment and economic point of view. The paper presents different methods that can be applied for the recycling of zinc from solid waste.

**Key words:** hot-dip galvanizing, solid waste, recycling.

---

<sup>#</sup> Особа за контакт: vojka.gardic@irmbor.co.rs

## УВОД

Технолошки поступак топлог цинковања је један од старијих али поузданих метода за заштиту челика од корозије. Да би добијена превлака цинка била хомогена и униформна површина челика се подвргава серији хемијских третмана пре наношења превлаке цинка, што подразумева одмашћивање, уклањање оксида гвожђа, активирање површине у процесу флуковања. Обзиром да технолошки процес топлог цинковања има за последицу настајање одређених количина чврстог и течног отпада, који се сврставају у групу опасног отпада,

технологија се раније сврставала у такозване „прљаве“ технологије. Данас се тежи томе да се што веће количине, како течног тако и чврстог отпада подвргава регенерацији и рециклажи, чиме се знатно умањује штетан утицај на околину. Рециклажа металних јона из отпада веома је важна како због заштите околине тако и са економске тачке гледишта. Из тих разлога је веома битно сагледати могућности регенерације и рециклаже металних јона из отпада који настају у току технолошког поступка топлог цинковања.<sup>1</sup>

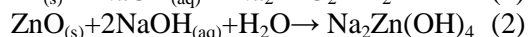
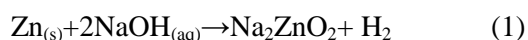
## МЕТОДЕ РЕГЕНЕРАЦИЈЕ МЕТАЛА ИЗ ЧВРСТОГ ОТПАДА

Цинк се лако рециклира и отприлике 30% целокупне потрошње цинка потиче из секундарних сировина. Међутим отпад из процеса галванизације се не може тако брзо и једноставно вратити у ток производње.<sup>2</sup> Постоје више различитих метода које се примењују у индустрији или су развијене на лабораторијском нивоу, а дају могућност регенерације и рециклаже цинка из чврстог отпада.

### Метода лужења чврстог отпада на бази цинка раствором натријум-хидроксида

Чврсти отпад на бази цинка је улазна сировина која се убацује у реактор. Реактори се након шаржирања спушта у танк са врућим раствором (70-90 °C) воденог раствора NaOH концентрације 250-440 g/dm<sup>3</sup>.

Процес растварања цинка из чврстог отпада натријум-хидроксидом може се представити следећим реакцијама<sup>3</sup>:



Раствор засићен цинком се може регенерисати у електролитичким ћелијама

за регенерацију цинка. Ћелије су опремљене катодама од челика легиран магнезијумом.

За добијање 1 kg цинк праха потребно је да кроз ћелију прође 1 000 Ah. Потрошња енергије је просечно 4,4 KWh по килограму цинк праха. Раствор натријум-хидроксида се након електролизе враћа у танк за лужење отпада. Метода се примењује на индустријском нивоу.<sup>4,5</sup>

### Хидрометалушка метода регенерације цинка из пепела

Током процеса топлог цинковања као чврсти отпад формира се и пепео са одређеним садржајем цинк. Пепео се лужи разблаженом сумпорном киселином и главне нечистоће, као што су Fe, Cd, Cu и органске компоненте уклањају се таложењем контролом рН вредности током лужења, а као реагенс за неутрализацију додаје се ZnO. Додатно пречишћавање и уклањање органских материја врши се третирањем раствора преко активног угља и на крају се врши процес цементације. Из пречишћеног лужног раствора таложи се цинк-хидрокси-карбонат. Метални цинк се издваја електролитички из електролита који се добија третирањем цинк-хидрокси-

карбонат разблаженом сумпорном кислином.<sup>6</sup>

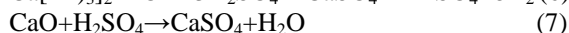
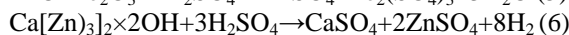
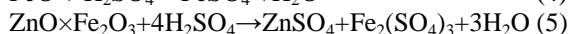
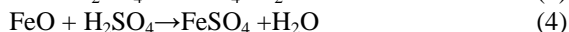
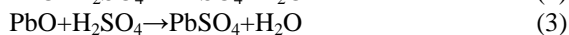
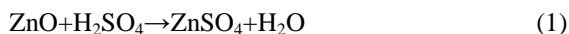
**Метода лужење прашине и пепела на бази цинка раствором амонијум-хлорида**

Пречишћавање и регенерација цинка из отпадне прашине из гасова (прашина прикупљена изнад каде за флуксирање и цинковање), као и шљака која се прикупља са површине каде за цинковање у облику цинк амонијум-хлорида одвија се у више фаза. Прва фаза подразумева лужење чврстог отпада 23% воденим раствором амонијум-хлорида, при чему долази до растварања цинка, цинк-оксида, а као нерастворни остатак остају гвожђе-оксид, бакар-оксид, олово-оксид и други оксиди. Лужење се одвија на повишеним температурама (90 °C). Након раздвајања фаза, раствор се третира елементарним цинком при чему долази до додатног уклањања нечистоћа преципитацијом (олово, бакар, кадмијум). Одвајањем течне и чврсте фазе добија се раствор који по хемијском саставу одговара цинк амонијум-хлориду, а подешавањем количине додатог амонијум-хлорида може се добити двогуба со са различитим односом цинк-хлорида и амонијум-хлорида ( $ZnCl_2 \cdot xNH_4Cl$ ;  $ZnCl_2 \cdot 2NH_4Cl$ ,  $ZnCl_2 \cdot 3NH_4Cl$ ,  $ZnCl_2 \cdot 6NH_4Cl$ ). Хемијском анализом се потврђује састав раствора цинк амонијум-хлорида, који се, ако је одговарајућег састава, може одмах користити као раствор за флуксирање.<sup>7</sup>

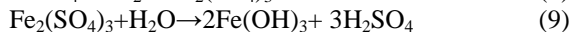
**Метода лужења чврстог отпада на бази цинка отпадном акумулаторском сумпорном киселином**

Чврсти отпад цинка, који је улазна сировина, по хемијском саставу је цинк-оксид, метални цинк, муљ из неутрализационог постројења за пречишћавање отпадних вода и легуре цинка са одређеним садржајем нечистоћа.

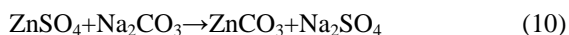
Процес лужења чврстог отпада на бази цинка сумпорном киселином може се представити следећим реакцијама:



Калцијум-сулфат и олово-сулфат који се формирају при процесу лужења остају у раствору у оквиру својих производа растворљивости. Гвожђе ће се уклонити из лужног раствора, без значајних губитака цинка, контролом pH вредности и подешавањем на вредност од око 4 при оксидационим условима, доћи ће до таложена гвожђе(III)-хидроксида. Процес уклањања гвожђа може се представити преко следећих једначина:



Раствор цинк-сулфата је погодан за електролитичко издвајање цинка или за преципитацију цинка у облику нерастворних једињења ради уклањања још неких присутних нечистоћа. Као агенс за преципитацију може се употребити натријум-карбонат, при чему ће се цинк таложити у облику цинк-карбоната. Процес преципитације цинка може представити следећом једначином:



Процес преципитације почиње на pH 4, а потпуно преципитација тече на pH 8,5 што омогућава добијање једињења без присуства хлорида, чак и ако се цинк-карбонат издваја из хлоридних раствора. Добијени цинк-карбонат је погодна сировина за добијање цинк-оксида.

Процеса лужења чврстог отпада на бази цинка отпадном акумулаторском сумпорном киселином и добијање цинк-карбоната приказан је на слици 1.<sup>8,9</sup>



**Слика 1.** Приказ процеса лужења чврстог отпада на бази цинка отпадном акумулаторском сумпорном киселином и добијање цинк-карбоната

## ЗАКЉУЧАК

Регенерација и рециклажа метала из чврстог отпада могућа је применом различитих метода:

- Метода лужења чврстог отпада на бази цинка раствором натријум-хидроксида – примењује се за чврст отпад са одређеним садржајем металног цинка и цинк оксида. Метода ефикасно омогућава уклањање гвожђа и издвајање цинка електрохемијским издвајањем из алкалног раствора који се овом применом регенерише и може се поново применити.
- Хидрометалушка метода регенерације цинка из пепела – ефикасна регенерација цинка из пепела и уклањање примеса и добијање чистог цинк-хидрокси-карбоната.
- Метода лужење прашине и пепела на бази цинка раствором амонијум-хлорида - пречишћавање и регенерација цинка из отпадне прашине из гасова (прашина прикупљена изнад каде за флуksирање и

цинковање) и из шљаке и добијање двогубе соли са различитим односом цинк-хлорида и амонијум-хлорида.

- Метода лужења чврстог отпада на бази цинка отпадном акумулаторском сумпорном киселином - чврсти отпад цинка на бази цинк-оксида, метални цинк, муљ из неутрализационог постројења за пречишћавање отпадних вода и легуре цинка са одређеним садржајем нечистоћа.

Добијени цинк-карбонат је погодна сировина за добијање цинк-оксида.

Рециклажа металних јона из отпада веома је важна како због заштите околине тако и са економске тачке гледишта. Из тих разлога је веома битно извршити избор најпогоднијег решења регенерације и рециклаже металних јона из отпада који настају у току технолошког поступка топлот цинковања.

## ЗАХВАЛНИЦА

Овај рад је потпомогнут од Министарства за науку Републике Србије, а у оквиру пројекта "Развој технологија заштите вода регенерацијом раствора и

рециклажом метала из погона врућег цинковања", програм технолошког развоја (МНТР - 19026).

## ЛИТЕРАТУРА

1. Петровић Б., Гардић В., Мишић Љ., Аћимовић М., Миличић Љ., "Стратегија управљања отпадом у погону топлот цинковања", Рециклажа и одрживи развој, 1,2 (2008)77-82
2. Bright M. A., Deem N. J., Fryatt J., "The advantages of recycling metallic zinc from the processing wastes of industrial molten zinc applications", TMS (The Minerals, Metals & Materials Society), 2007
3. Youcai Z., Stanforth R., "Extraction of Zinc from Electric Arc Furnace Dust by Alkaline Leaching Followed by Fusion of the Leaching Residue with Caustic Soda", Chinese J. Chem.Eng., 12 (2) , 2004, 174-178
4. Dudek F., Daniels E., Annual Convention & Iron and Steel Exposition, Cleveland, Ohio, 1997
5. www.meretec.com
6. Dvorak P., Jandova J., "Hydrometallurgical recovery of zinc from hot dip galvanizing ash", Hydrometallurgy, Volume 77, Issues 1-2, April 2005, Pages 29-33
7. www.freepatentsonline.com
8. Kunick Z., Jandova J., Dostal J., Dvorak P., "Zinc Recovery From Wastes Using Spent Acid From Scrapped Lead Acid Batteries", Lead and Zinc, 2008, 247-254
9. Савић М., Петровић Б., Гардић В., "Карактеризација муљева од неутрализације отпадних раствора и испирних вода из поступка топлот цинковања", XI YUCORR, Тара, 230-234