

## ВИБРАЦИОННО СМИЛАНЕ НА АЛУМИНИЕВ СКРАП

*Любомир Кузев, Стайко Сексенев, Ирена Григорова*

*Минно-геоложки университет "Св.Ив.Рилски", 1700 София, lkuzev@mgu.bg*

**РЕЗЮМЕ.** За получаването на прахообразен алуминий са известни няколко метода. Широкото му приложение в практиката дава основание за търсене на нови по-ефективни и по-евтини начини за получаването му. Изследването е свързано с проверка влиянието на ПАВ при смилането на алуминий, както и предварителната термична обработка на предназначения за смилане алуминиев скрап. Разработени са технологични схеми за получаване на алуминиев прах с желана зърнометрия, както и на алуминиев прах с определена (люспеста или заоблена) форма на частиците.

### VIBROGRINDING OF ALUMINIUM SCRAP

*Lubomir Kuzev, Stayko Seksenov, Irena Grigorova*

*University of Mining and Geology "St.Ivan Rilski", Sofia 1700, lkuzev@mgu.bg*

**ABSTRACT.** For receiving on powdered aluminium have some methods. The wide application in practice give reason for searching of new, more effective and cheaper methods for receiving. The investigation is connected with control influence of PAV by grinding of aluminium and beforehand therm treatment on designed for digestion aluminium scrap.

There are developed technological plans for receiving on aluminium powder with wished granulometric, as well aluminium powder with determinate (flake or sphere) shape of particle.

### Въведение

Алуминият не се среща в природата като чист метал.

В кислородна атмосфера той е силно реактивоспособен. Въпреки това му качество намира много широко приложение под формата на различни сплави в самолетостроенето, машиностроенето, праховата металургия, строителството, корабостроенето, битовото машиностроене и т.н.

Излезлите от употреба изделия от алуминиеви сплави се събират и рециклират чрез пирометалургична преработка и така метала алуминий отново се включва в цикъла на потреблението.

Тази схема е стандартна, но процесът на рециклиране е скъп и енергоемък. Пирометалургията на алуминий създава и екологични проблеми главно с получаваните шлаки. Има редица производства, в които се използват прахообразни алуминиеви продукти, като получаване на пенобетон, производство на взривни смеси, производство на електроди за заваряване, бои и други.

За получаването на прахообразните алуминиеви продукти има различни методи, но по-голямата част са технически трудно изпълними и икономически обременени. Най-икономичният начин за получаване на прахообразни алуминиеви продукти е директното

превръщане на алуминиев скрап чрез механическо наситняване.

### Механични методи за получаване на прахообразен алуминий

Прилагането на механическото наситняване на металите е ограничено, поради редица причини. Случаите в които се прилага са:

- Наситняване на гъбести метални структури получени при електролиза или редукция;
- Наситняване на крехки метали и сплави;
- Получаване на прахове с люспеста форма на частиците;
- Невъзможност за получаване на метален прах по друг начин;

Механичното наситняване има сериозни недостатъци. Смилането на много твърди или пластични метали е съпроводено от много затруднения и като правило е икономически неизгодно. Много често полученият при смилането метален прах не отговаря на изискванията, поради неблагоприятна форма на частиците или поради получаване на налеп.

При механичното наситняване се прилагат различни процеси като накъсване, насичане, нарязване, абразивни методи (изпилване, фрезование и др.), удар и други. Общата им характеристика е ниска производителност.

## Теоретични предпоставки

Особено трудно механично се наситняват металите Ag, Al, Cu, Zn, Pb и други тъй като те притежават свойството пластичност и ковкост. Ковкостта е свойството на металите да се деформират и превръщат в тънки листове без нарушаване на целостта под въздействие на натиск. Прилагането на натиск при ковките метали води до явлението смачкване. Ако този процес се извършва при температура по-ниска от температурата на рекристализация на съответния метал, то при определени условия, различни за всеки от металите, той става крехък, появяват се пукнатини и настъпва разрушаване. (Ромона О, 1990)

За получаване на фини прахове в големи количества е необходимо прилагането на машини, при които едновременно се въздействува върху голям брой частици. Такива машини са мелниците. Познавайки условията на работа на топковите и прътовите мелници може да се изтъкне, че всяка частица има три степени на свобода и ротация. Оказваните въздействия могат да бъдат натиск, изтриване, удар или комбинация от тях. При оказваните въздействия в процеса на работа на мелницата се променят повърхностните свойства на частиците, променя се температурата и налягането, което е предпоставка за физически промени в материалите. Няма точни определения за скоростта на свиване при ударни въздействия, както и прага, след който се наблюдават изменения на физическите свойства. В частиците при удар възникват както еластични така и пластични вълни, които довеждат до появяване на кратковременни напрежения. При ударни въздействия с много висока енергия може да се наблюдават значителни промени във физическите свойства на метала без да се наблюдават особено големи деформации.

Процесът на смилане в топковите мелници може да се интензифицира, чрез увеличаване на масата на смилачите тела или с увеличаване на скоростта на въртене на барабана приближавайки го до критичната скорост. Възможностите на топковото и прътовото смилане са ограничени, тъй като и двата параметъра посочени по-горе могат да се променят в относително малки интервали. Много по-големи възможности имат вибрационните мелници. При тях честотата на въздействие от страна на смилачата среда е многократно по-висока, интензивността на ударите е до 20 пъти по-голяма, характера на въздействието е комбиниран и няма постоянен характер по сила и посока.

## Експериментална част

Целта на изследването е отчитане на влиянието на налягането върху режима на смилане на алуминиев скрап със съдържание на алуминий над 93% при получаване на прахообразни алуминиеви продукти във вибрационна мелница.

## Материали и методика на изследването

За провеждане на експерименталната работа са използвани стружки от марка „АЕ” със следния химически състав:  
Al>99,5%; Fe-0,35-0,18%; Si-0,12%; Cu-0,02%; Zn-0,05%; Ti+V+Mn+Cr – 0,01% .

Алуминиевите стружки са начупени с дължина на късовете между 15 и 20 mm и дебелина < 0,5 mm.

Методиката на изследване е провеждане на пасивен експеримент с установяване на оптимална стойност за наблюдавания интервал. Изследваните параметри са:

- Продължителност на вибровъздействието – до 20 минути
- Вид на смилачата среда – прът от WC с тегло 1450 g ; прът от алуминиева сплав с тегло 250 g
- Накаляване на материала за смилане до 600 °C с двучасова задръжка и интензивно охлаждане
- Накаляване на материала за смилане до 600 °C с естествено охлаждане до стайна температура

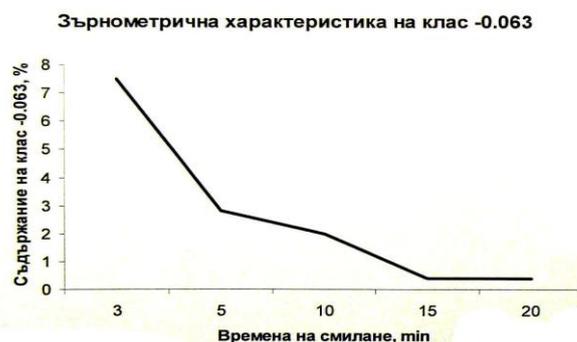
Влияние на олеопалмитостеарина при вибрационното смилане – олеопалмитостеарина е естер на глицерина с олеинова, палмитинова и стеаринова киселини.

Отчитането на изследваните параметри се осъществява по новополучен клас – 0,063 mm.

Лабораторните експерименти се провеждат във вибрираща камера с обем 330 ml при честота 24 Hz и амплитуда от 6 mm.

## Експериментални резултати

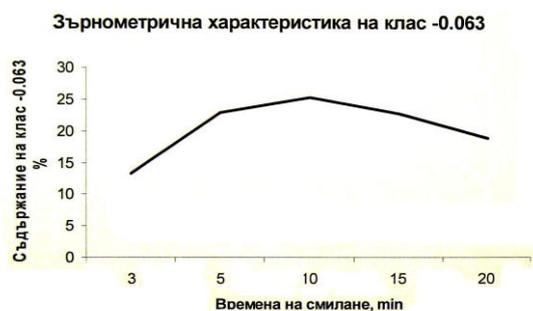
За сравнение на получаваните резултати при изследваните параметри е проведен нулев опит. На фигура 1 е даден получения резултат.



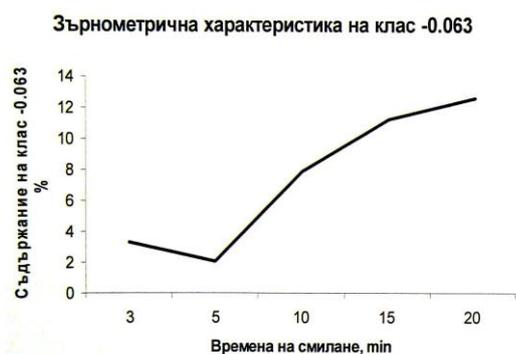
Фигура 1. Нетретирани температурно с алуминиеви стружки по смилане

Алуминиевият продукт след триминутно смилане е с 7,5% клас -0,063, който при 15 и 20 минутно смилане спада под 0,5%.

При изследване на накалени до 600 °C алуминиеви стружки и плавно охлаждане са проверени възможностите на двете работни среди – прът от WC и прът от алуминиева сплав.



Фигура 2. Вибрационно смилане с прът от WC



Фигура 3. Смилане с прът от алуминиева сплав

На фигура 2 са илюстрирани получените резултати при вибрационно смилане с прът от WC, а на фигура 3 са аналогични получените резултати от смилане с прът от алуминиева сплав.

Таблица 1

Зърнометрична характеристика на алуминиев продукт след 10 минутно вибрационно смилане

Класи, mm	Добив на класите	
	Частен %	Сумарен %
+0,63	3,151	100,00
-0,630+0,400	3,151	96,849
-0,400+0,160	28,362	93,698
-0,160+0,125	15,336	65,336
-0,125+0,063	24,790	50,00
-0,063	25,210	25,210
Всичко	100,00	

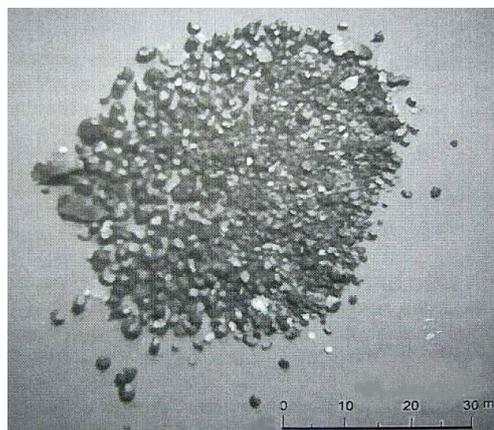
Таблица 2

Зърнометрична характеристика на алуминиев продукт след 20 минутно вибрационно смилане

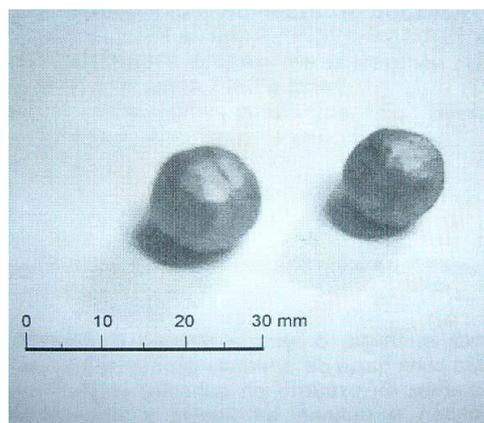
Класи, mm	Добив на класите	
	Частен %	Сумарен %
+0,63	11,555	100,00
-0,630+0,400	9,034	88,445
-0,400+0,160	33,613	79,411
-0,160+0,125	14,706	45,798
-0,125+0,063	18,487	31,092
-0,063	12,605	12,605
Всичко	100,00	

На таблица 1 е демонстрирана зърнометричната характеристика на алуминиев продукт след 10 минутно вибрационно смилане, а на таблица 2 е зърнометричната характеристика на алуминиев продукт след 20 минутно вибрационно смилане с прът от алуминиева сплав.

Вибрационното смилане на накаляваните 2 часа при 600 °C с алуминиеви стружки и подложени на рязко охлаждане при условията на експеримента не дадоха фин по зърнометрия алуминиев продукт.



Фигура 4. Алуминиев продукт получен при 5 минутно вибрационно смилане



Фигура 5. Алуминиев продукт след 20 минутно вибрационно смилане с прът от WC

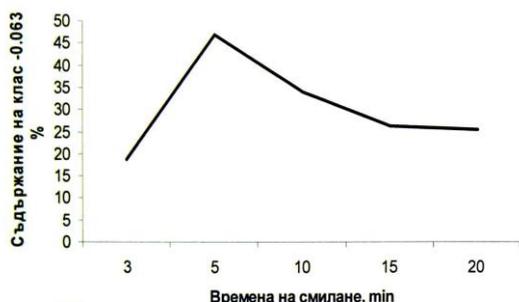
На фигура 4 е показан алуминиев продукт получен при 5 минутно вибрационно смилане, а на фигура 5 същият алуминиев продукт след 20 минутно вибрационно смилане с прът от WC.

Влиянието на олеопалмитостеарина е изследвано при алуминиеви стружки накалени 2 часа при 600 °C с плавно охлаждане.

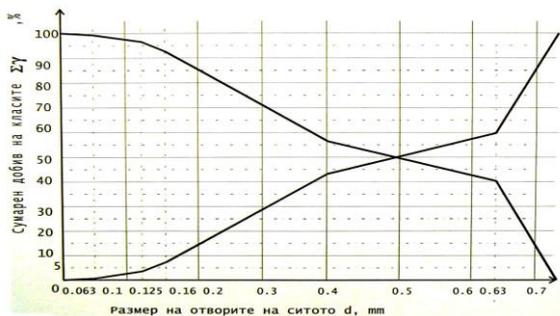
На фигура 6 е дадена графиката за получавания разчетен клас минус 0,063 mm алуминиев продукт при вибрационно смилане с WC прът с количество на 0,5 g на подавания в началото на смилането олеопалмитостеарин.

При този експеримент са наблюдавани интересни трансформации на алуминиеви стружки.

### Зърнометрична характеристика на клас -0.063



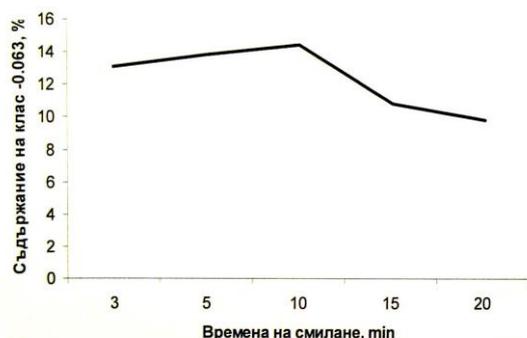
Фигура 6. Разчетен клас - 0,063 mm алуминиев продукт при вибрационно смилане с WC



Фигура 7. Алуминиеви стружки в пластинчата форма

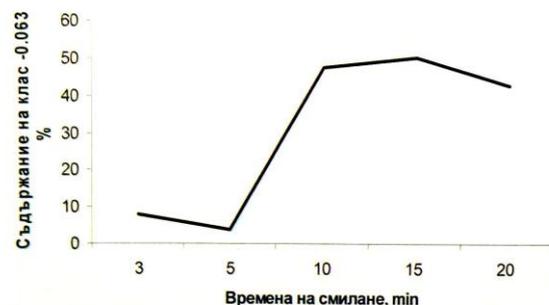
След 3 минутно вибрационно смилане алуминиеви стружки преминават в пластинчата форма, като част от частиците са фини. Регистрира се полепване по стените на мелницата, като налепите леко се отделят. Материала е мазен на пипане и има светлосив цвят. Вида на полученият алуминиев продукт е показан на фигура 7.

### Зърнометрична характеристика на клас -0.063



Фигура 8. Процента на фините класи на алуминиевия продукт

### Зърнометрична характеристика на клас -0.063



Фигура 9. Влиянието на масата на смилания прът при вибрационно смилане на алуминиеви стружки

След 5 минутно вибрационно смилане се получава голям процент фини класи и има набухване на алуминиев продукт. Полученият резултат е илюстриран на фигура 8.

След 10 минутно вибрационно смилане люспестата форма на частиците се променя в овална. Температурата на работната камера достига 60 °C.

След 15 минутно вибрационно смилане има намаляване на процента на фините фракции. Алуминиевите частици не са мазни на пипане.

След 20 минути смиланият материал визуално не променя своя характер.

Зърнометричната характеристика при най-добрия опит по отношение на клас -0,063 mm при продължителност на смилането от 5 min е дадена на таблица 4.

Таблица 3  
Зърнометрична характеристика при най-добрия опит по отношение на клас -0,063 mm при смилането от 5 минути

Класи, mm	Добив на класите	
	Частен %	Сумарен %
+0,63	5,556	100,00
-0,630+0,400	3,703	94,444
-0,400+0,160	19,342	90,741
-0,160+0,125	9,259	71,399
-0,125+0,063	15,432	62,140
-0,063	46,708	46,708
Всичко	100,00	

Влиянието на масата на смилания прът при вибрационно смилане на алуминиеви стружки накали до 600 °C и плавно охладени, в присъствие на 0,5 g олеопалмитостеарин е показано чрез графичната зависимост на фигура 9.

Накратко охарактеризираме вида на смилания алуминиев продукт.

След 3 минути вибрационно смилане алуминиевите стружки са с предимно зърнеста форма, като процента на едрите класи е малък. Регистрира се залеждане по стените на работната камера. Продукта е мазен на пипане. Има светло сив цвят.

След 5 минути вибрационно смилане визуално не се отчита промяна в сравнение с 3 минутното вибрационно смилане.

След 10 минути се наблюдава наличие на голям процент фини фракции. Няма полепване по работната камера. Има тъмно сив цвят.

След 15 минути материала не е мазен на пипане. Голям процент фини фракции. Леко набухване. Температурата се повишава до 60 °C.

След 20 минути смилане визуално не се намира разлика с продукта получаван при 15 минутно вибрационно смилане.

Зърнометричната характеристика на опита (15 минути) показал най-висок процент фини фракции е представен на таблица 4.

Таблица 4  
Зърнометрична характеристика на опита (15 минути) показал най-висок процент фини фракции

Класи, mm	Добив на класите	
	Часте н	Сумарен
	%	%
+0,63	3,205	100,00
-0,630+0,400	3,205	96,795
-0,400+0,160	13,462	93,590
-0,160+0,125	7,479	80,128
-0,125+0,063	22,436	72,649
-0,063	50,213	50,213
Всичко	100,00	

## Дискусия

Получаването на прахообразни алуминиеви продукти без преминаване през пирометалургична преработка е една интересна възможност за преработката на алуминиев скрап. С помощта на вибрационното смилане реализирането на алуминиевия скрап директно в алуминиеви прахообразни продукти е напълно осъществимо. В предишни изследвания (Kuzev, Hristov, 2000) е установено положителното влияние на олеопалмитостеарина върху смилането на алуминиеви сплави.

След термична преработка може да се очаква нарушаване на структурата на метала чрез създаване на дефекти изразяващи се във формиране на микропукнатини и дислокации. Проведеното накаляване до 600 °C с плавно и бързо охлаждане на алуминиев скрап би следвало да даде отражение върху кинетиката на смилането на алуминиевия скрап. Плавното охлаждане е изстиване до стайна температура заедно с охлаждането на пещта, а бързото охлаждане е изваждане от пещта във въздушна атмосфера на нагрятия алуминиев скрап.

Интересно в изследването е и прилагането на смилача среда с различна маса от тази на нормално използваните стоманени пръти. Масата на WC прът е близо около два пъти по-голяма от тази на железен прът, а пръта от алуминиева сплав е с около два пъти по-малка маса от тази на железен прът.

При директното вибрационно смилане без използване на ПАВ се получават няколко процента клас -0,063 mm в първите минути на процеса, които след това намаляват

(фигура 1). При вибрационно смилане на накален алуминиев скрап и плавно охлаждане се наблюдава увеличаване на получавания клас -0,063 mm, съгласно фигура 2 от 2 до 4 пъти. Интервалът, в който се получават фини фракции е от 5 до 15 минути.

Поведението на накален до 600 °C алуминиев скрап подложен на рязко охлаждане придобива свойството ковкост. При проведеното вибрационно смилане се получават едри пластинки, които след това се спояват и превръщат в сфери с диаметър около 20 mm с висока плътност, което се вижда от фигура 5.

Влиянието на олеопалмитостеарина върху вибрационното смилане е изследвано при различни дозировки (от 0,5 до 1,5 g). Проверено е влиянието на масата на смилачата среда. За експериментите е използван термично обработен до 600 °C алуминиев скрап след бавно охлаждане. Експерименталните резултати са отразени на графична зависимост (фигура 6) отнасящи се за смилане с WC прът и разход на ПАВ 0,5 g, и фигура 9 с графична зависимост отразяваща вибросмилане с прът от алуминиева сплав при същият разход на ПАВ. Максимално достигнатите резултати на разчетен клас -0,063 mm са близки по абсолютна стойност 46,7 % при WC прът и 50,2 % при прът от алуминиева сплав. Достигането на тези стойности става съответно за 5 минути и за 15 минути. Тези резултати потвърждават още веднъж зависимостта между интензивността на удара резултат от масата на смилачото тяло и времето на смилането.

Получените резултати от изследването са в затворен цикъл на смилане. При реализиране на работа на вибрационната мелница в отворен цикъл с отделяне на готовите класи и връщане в процеса на по-едрите фракции ще се реализира технологичен процес с висока производителност.

## Заклучение

От направеното изследване могат да се направят следните изводи:

1. Вибрационното смилане на алуминиев скрап е икономически оправдан и конкурентен начин за получаване на алуминиеви прахове.

2. Големият ефект от използването на олеопалмитостеарина върху смилането на накален при 600 °C и плавно охладен алуминиев скрап се потвърждава.

3. Вибрационното смилане на накален алуминиев скрап при 600 °C и плавно охлаждане е 3-4 пъти по-ефективно от вибрационното смилане на нетретирен алуминиев скрап.

## Литература

Джонс В. 1964. Производство металлических порошков. М., Мир  
Kuzev L., Hristov N. 2000. Vibration grinding – an approach for secondary use of refuse metallic aluminum.

*International symposium on Processing of Fines (PROF-2000), 2-3 November, Jamshedpur, India*  
Ромона О. 1990. Актуальные проблемы порошковой металлургии. М.,  
Стоев С. 1985. Материалознание и ремонтно дело. С.,

Препоръчана за публикуване от  
Катедра "Минерални технологии", МТФ