

Вибрационно смилане на ковки и пластични метали и сплави

Николай Христов, Любомир Кузев

Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", 1700 София

РЕЗЮМЕ. Докладът представя резултатите от проведено лабораторно изследване относно наситняването на широк кръг от пластични метали и сплави чрез смилане в конвенционален тип вибрационни мелници – алуминий, калай, олово, мед, оловно-калциева и оловно-антимонова сплав. Представени са част от получените лабораторни резултати при вариране на изследваните технологични параметри – време на смилане, количество на материала за смилане, температура, работна среда, влияние на различни реагенти позволяващи смилането, начина на подаването им и тяхното количество, начин на отделяне на готовият продукт и др. Представена е дискусия върху най-интересните моменти от изследването, а именно начин на деформация и въздействие върху отделната частица, ключови фактори определящи взаимодействието на смилания материал и смилачната апаратура, влияние на температурата, влияние на добавяните реагенти и т.н.

VIBRATION GRINDING OF FORGEABLE AND PLASTIC METALS AND ALLOYS

ABSTRACT. The paper presents results of carried out laboratory investigation on comminution by grinding in conventional type vibration mills of wide range of forgeable and plastic metals and alloys including – aluminum, tin, calcium, lead, copper lead-calcium and lead-antimony alloys. Part of laboratory obtained results by varying of the investigated technological parameters – grinding time, quantity of grinded material, temperature, working medium, influence of different reagents allowing grinding, way of its addition and quantity, different ways of separating of the grinded product and so on are presented. Discussion on the most interesting moments in the investigation namely deformation patterns, key factors defining relationship between grinded material and grinding equipment, temperature influence, reagent addition influence and so on is introduced.

Въведение

Употребата на метали в прахообразно състояние в различни браншове на индустрията нараства с значителни темпове. Метали в прахообразно състояние се употребяват в металокерамичните изделия, синтеровани материали, лакобояджийската индустрия, взривни материали, за производство на електроди, пенобетон, прокат и др.

Употребата им в прахообразен вид се обуславя от невъзможността за използването им в компактно състояние или с цел използване на специфични свойства различни от свойствата на компактният метал, придобити в процеса на тяхното производство или от самото прахообразно състояние – голяма относителна повърхност, реактивоспособност и т.н.

Съществува широк набор от начини за получаване на метали в прахообразно състояние: разпрашаване от стопилка, електролиза, редукция от твърда фаза, металотермични реакции, утаяване на метали от водни разтвори, утаяване от газова фаза, механическо наситняване в това число – накъсване, насичане и нарязване, абразивни методи, смачкване, удар, смилане.

Основното количество прахообразни метали се получават по метода на разпрашаване от стопилка. Употребата на този метод се ограничава от високата енергийна консумация, както и невъзможността за разпрашаване на някои метали в предвид тяхната висока реактивоспособност (Джонс, 1964).

Наситняването на металите чрез смилане е сравнително слабо познат процес и употребата му се ограничава само до наситняване на крехки метали и сплави (независимо от тяхната якост, например WC).

Наситняването на ковки и пластични метали и сплави, в промишлени условия не се прави, както и съществуват ограничен брой теоретични разработки и изследвания за наситняване в лабораторни условия (Вернер, 1966).

Цел

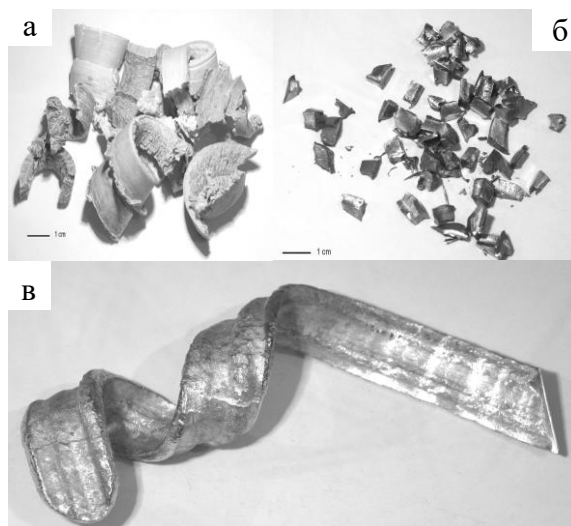
Изследвани са възможностите на конвенционален тип вибрационни мелници, за производство на метални прахове и получаване на пазарни продукти отговарящи на съответните качествени изисквания.

Лабораторни изследвания

Материали

Изследваните материали включват: алуминий, калай, калций, олово, мед, оловно-калциева и оловно-антимонова сплав.

За достигане на едрини позволяващи захранването на използвания лабораторен вибрационен стенд, всички от изследваните суровини бяха подготвени чрез нарязване с ръчна настолна ножица до получаване на продукт с едрина $D_{\max}$ 5-6 mm. Фигура 1.

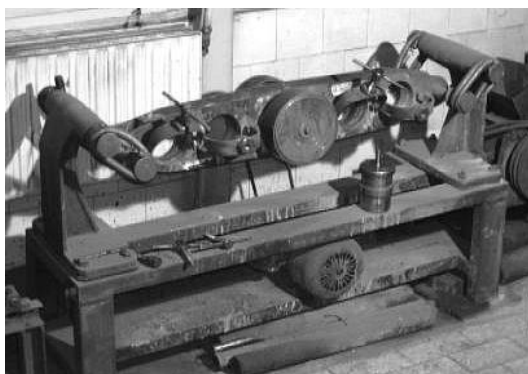


Фиг. 1. Общ вид на част от използваните суровини:
а). Калций; б). Калай след нарязване; в). Калай

Лабораторна апаратура и технологични условия

Лабораторната обстановка включва лабораторен вибрационен стенд с константни вибрационни параметри от честота $f = 24 \text{ Hz}$ и амплитуда $A = 3 \text{ mm}$, осигуряващ провеждането на четири експеримента едновременно.

Апаратурата позволява осигуряването, както на сух, така и на мокър технологичен процес при прекъснат режим на работа. Фигура 2.



Фиг. 2. Общ вид на използвания лабораторен вибрационен стенд

Използваните работни среди представляват пръти с различна геометрия, работна повърхност и тегло.

Работната вибрационна камера е с обем от 360 cm^3 , като височината – $L_{\text{мел}} = 9,8 \text{ cm}$, а диаметъра – $D_{\text{мел}} = 6,8 \text{ cm}$. Вътрешната и повърхнина е гладка. Фигура 3.

Експериментални резултати

Наситняването на алуминий без охлаждане на вибрационната камера води до агрегиране на материала подложен на обработка. Изменението на факторите вид на работната среда и количество на материала за смилане само изменят скоростта на агрегирането.

Процесът на наситняване е възможен при охлаждане на работната камера до стайна температура през определени интервали. Таблица 1 представя резултатите от експеримента по вибрационно смилане на алуминий с принудително охлаждане на корпуса на мелницата до температура

25°C през интервал от 10 min. Условието на опита са: описаната методика за вибрационно смилане, работна среда – рифелен прът, количество на пробата – 30 g (подадено в началото на опита). Като разчетен клас е ползвана класата – 0,071 mm, която е отделяна в края на всеки интервал на обработка. Останалата част от пробата се връща обратно в мелничната камера и опитът повтаряйки описаната последователност продължава.



Фиг. 3. Общ вид на част от използваните работни среди и работна камера

Таблица 1.

Влияние на температурата

Време на въздействие	Добив на класа – 0,071 mm		Сума, g
	$\mu, \%$	μ, g	
10 min.	3.33	1,0	30,1
20 min.	1.33	0,4	29,1
30 min.	1.66	0,5	28,7
40 min.	2.66	0,8	28,1
50 min.	2.66	0,8	27,1
60 min.	3.33	1,0	26,4
70 min.	5.33	1,6	25,4

Направените опити потвърждават възможността за наситняване на алуминий чрез смилане с помощта на някои органични реагенти. Най-добри резултати показва реагента OPSt. Таблица 2 показва резултатите от влиянието на добавеният реагент, както и от начина на неговото добавяне (Kuzev, Hristov, 2000).

Таблица 2.

Влияние на реагента OPSt

Количество и начин на подаване	Добив, % (- 0.071)
0,1 g през 5 min (2 kg/t)	11.6
0,2 g през 5 min (4 kg/t)	23.6
0,2 g през 10 min (4 kg/t)	37.4
0,4 g през 10 min (8 kg/t)	57.8

Резултатите от проведените експерименти показват, че влиянието на работната среда върху процеса на наситняване с използване на повърхностно активно вещество от OPSt е в посока на изменение на добивите, като характера на разрушаване се запазва един и същ – изтъняване и последващо накъсване.

Резултатите от опитите с различни смилаци среди са представени в Таблица 3. Опитът е проведен при следните условия – количество на материала – 50 g, подаване на реагент – 0,4 g (8 kg/t) през 10 min, без сепариране на готовата класа, т.е. пресятото количество класа – 0,071 mm се връща обратно в мелницата. По този начин данните представени в таблицата представляват сумарна характеристика на добива на класата по отношение на времето.

Таблица 3.

Влияние на работната среда

Работна среда	Добив на класата – 0.071 mm след min обработка, %.				
	5, min	10, min	20, min	30, min	40, min
Лек рифелен прът	2.2	6.4	6.4	8.0	11.2
Рифелен прът	7.4	17.2	39.4	50.6	63.8
Лек с вълнообразна повърхност	5.2	12.6	25.3	26.0	25.0
Тежък с вълнообразна повърхност	5.8	14.8	28.6	36.4	45.0

Относно смилането на калая съществуват значително по-малко изследвания. Наситняването на калай без добавяне на реагенти се оказва невъзможно. Значително количество материал полепва по работните тела след 30 sec обработка.

Изследвани бяха следните реагенти способстващи смилането. Резултатите представя Таблица 4.

Таблица 3.

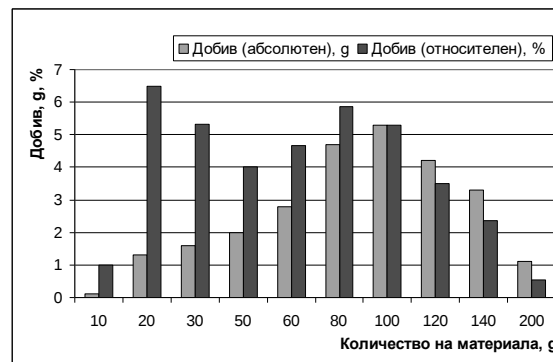
Влияние на работната среда

Реагент	Резултат след 5 min обработка
Нафта	Черен цвят, деформация без наситняване, полепване
Газ	Деформация без наситняване, полепване
Минерално масло	Деформация, наситняване, малка част здраво полепва по смилачната среда
Леко трансформаторно масло	Деформация без наситняване, полепване
Олеинова киселина	Деформация без наситняване, силно полепване
Парафин	Черен цвят, деформация без наситняване
Вазелин	Деформация без наситняване
Сапуни	Черен цвят, наситняване, полепване
OPSt	Наситняване

Влиянието на смилачната среда е сходно както при наситняването на алуминия. Най-добри резултати дава тежкия прът с вълнообразна повърхност.

Експериментите касаят влиянието на варирането на фактора – начин на подаване на ПАВ показаха, че този фактор не е от такова съществено значение, както при смилането на алуминия. Разликите в добива на разчетен клас – 0,063 mm възлизаха на максимално 6 % по отношение на различния начин на подаване на реагента.

Влиянието на фактора – количество на обработвания материал е илюстрирано на следващата диаграма.



Фиг. 4. Абсолютен и относителен добив на класата – 0,063 mm в зависимост от количеството на материала подаден за смилане

От графиката ясно може да се види, че максимума по отношение на абсолютният добив може да се търси в границите на минималното захранване на мелничната камера с материал. Това обаче не се отнася за производителността на вибрационната установка, като цяло.

Влиянието на времето на обработка е илюстрирано на следващата таблица (лек вълнообразен прът, OPSt 42 g/t, 70 g материал).

Таблица 4.

Влияние на времето за обработка

Време на обработка, min	Добив на класа – 0,063 mm, %	Забележка
5, min	1.86	-
10, min	4.14	-
15, min	5.43	-
20, min	5.71	-
30, min	3.57	Полепване
50, min	-	Целият материал е полепнал

Добивът на готов продукт силно се влияе от зърнометрията на материала подложен на смилане. В резултат от многократно отделяне на готов продукт и добавяне на нов материал зърнометричната характеристика на смилания материал приема стойности, при които добивът на готов клас се утроява в сравнение с добива от изцяло необработен материал. Тази зърнометрична характеристика може да се нарече “естествена”, понеже за определена мелница и технологични параметри тя е една и съща и остава постоянна във времето.

За описаната вибрационна установка и съгласно описаната методика за имитиране на непрекъснат технологичен процес “естествената” зърнометрична характеристика на калая е представена в следващата Таблица 5.

Таблица 5.

Влияние на зърнометрията на пробата

Клас	Частен		Сумарен	
	g	%	По плюс	По минус
+ 1,0	19,2	14,63	14,63	100
- 1,0 +0,5	17,8	13,56	28,19	85,37
- 0,5 + 0,315	16,1	12,27	40,49	71,81
- 0,315 + 0,2	11,3	8,61	49,07	59,54
- 0,2 + 0,9	16,4	12,5	61,57	50,93
-0,09 +0,063	20,6	15,7	77,27	38,43
- 0,063	29,8	22,73	100	22,73
Всичко	131,2	100		

Характера на смилането на медта се доближава до този на алуминия. По отношение на смилането медта е "по-инертен" метал, което ще рече, че за протичане на процеса на агрегиране е необходимо значително по-голямо количество енергия. Това позволява използването на по-тежки работни среди, като и наситняване без добавка на повърхностно активен агент. Производителността на процеса за добив на клас под 60µm е ниска и това обуславя използването на реагент модификатор. Най-силно е действието на реагента OPSt, като някой от традиционните в случая добавки (нафта), не само че не подпомагат процеса на наситняване, а дори възпрепятстват и спират добива на фини класи. Факторът с най-голям коефициент на въздействие е смилачната среда.

Имайки в предвид голямата реактивоспособност на калция прилагането на суха технологична схема е нецелесъобразно, дори опасно. Изхождайки от предишния опит бяха направени редица експерименти с добавяне на различни вещества, които подадени в смилането да действат като повърхностно активни реагенти и след етапа на смилане да останат обмазани върху частиците предпазвайки ги от действието на атмосферната влага. За тази цел бяха изпитани различни минерални масла и греси, нафта, разредители, органични реагенти – парафин, олеати, вазелин, пластифициращи емулсии, както силикони, абразивни агенти и др. Нито едно от изброените вещества не успя да задоволи поставените цели. С някой от тях наситняването е възможно, но те не предотвратяват окислението на получения прах.

Прилагането на реагент OPSt е нецелесъобразно в предвид органичната му природа и наличието на известно количество вода в него. Въпреки това експерименти бяха направени, и резултатите показват, че по отношение на смилането реагента работи много добре. Вибросмилането в продължение на 30 min на 25 g материал с добавяне на 80 kg/t OPSt доведе до samozапалване на получения прах след прекратяване на смилането и отваряне на мелницата.

При тези условия единствено възможен е мокрия технологичен процес, като за течна среда се използват различни минерални вещества или органични течности.

Експерименти бяха направени със среди от течен парафин и минерални масла M10 D и Elf Rts. Най-добри резултати даде маслото Rts на Elf. Използването на маслата запазва металния блясък на частиците, докато при среда от парафин цветът на суспензията е черен.

Смилането на оловото, оловно-калциевата и оловно-антимоновата сплави притежават характер на смилане обладаващ характеристики между тези на алуминия и медта.

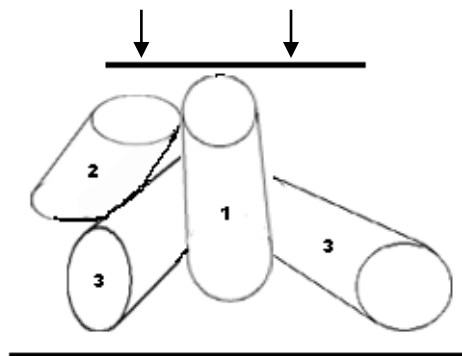
Смилането им без добавка на повърхностно активен агент е невъзможно, но така също е невъзможен и процеса на агрегиране характерен за алуминия.

Най-добри резултати се получават при наситняването с добавка на OPSt и минерално масло Elf Rts и използване на работна среда лек вълнообразен прът.

Дискусия

Използването на прътова работна среда предполага генерирането на ударни, нормално насочени натоварвания върху материала подложен на смилане. Такова натоварване приложено върху пластичен материал би следвало да доведе до деформиране на частиците в последователно изтъняване в едно от направленията и при продължаване на обработката, накъсване на получените пластинки или листчета метал. Изненадващо обаче изменението на формата следва друга закономерност. Деформирането на частиците е със съвсем различен характер. Той е най-ясно изразен при използването на сравнително лек прът, като смилачна среда. При този тип смилачна среда изменението във формата следва посоката към получаване на закръглени форми на частиците. Факторът на формата (определен като Дебелина/Дължина) на частиците при захранването е от порядъка на по-малко от 0,3 – 0,5 докато в резултат от 60 min обработка той се доближава до 1, което означава частици с правилна сферична форма.

Обяснението на този феномен може да се търси в изясняване на характера на подреждане на частиците от смилан материал и посоката на натоварването причинено от работната среда. Резултатите сочат към следната вероятна картина на подреждане на частиците на смилания материал Фигура 5. Такова подреждане може да обясни деформацията предимно по дългата ос на частиците. При такова подреждане можем да разглеждаме три случая на ориентирание на частиците.



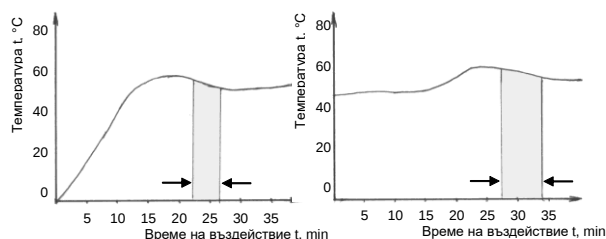
Фиг. 5. Вероятното разположение на частиците вътре в мелничната камера и посоката на приложеното натоварване

- Частици ориентирани с дългата си ос успоредно на посоката на приложеното натоварване (Фигура 48, частица 1);
- Частици застанали под някакъв ъгъл по правило по-малък от 45° (определен между посоката на натоварването и дългата ос на частицата (Фигура 48, частица 2);
- Частици лежащи върху повърхността на барабана или разположени под ъгъл по-голям от 45° (Фигура 48, частица 3).

При малко натоварване въздействие върху частици разположени съгласно положение 2 силите на триене в точ-

ките на контакт, както и опората оказана от частици намиращи се в положение 3 ще възпрепятства относителното преместване на частицата и по този начин тя ще се деформира преимуществено по краищата си, т.е. по своята дълга ос. Когато приложеното натоварване нарасте (при използване на по-тежък прът) опората оказана от частици в положение 3 не би била достатъчна за да осигури положение 2. Тогава в точките на контакт се съсредоточават значително количество енергия, която осигурява възможност за "студена" спойка в тях. По този начин става откъсване на част от краищата на частицата, което идва да обясни получените дробовидни форми при използването на средно тежък прът. След като частицата се разтовари от натоварването тя или частта откъснала се от нея се отлепва от корпуса на мелницата или смилащият прът и участва в движението на материала подложен на смилане. Когато приложеното натоварване е достатъчно голямо (използване на много тежък прът от WC), тогава енергията концентрирана в точките на контакт е значителна и след разтоварването на частицата от приложеното натоварване, тази част, която се е откъснала продължава да стои залепена за пръта или корпуса на работната камера. По този начин може да се обясни полепването на материала по смилащото тяло от WC.

Относно влиянието на температурата върху процеса на агломерирание можем да систематизираме резултатите в диаграмите (Фигура 6). Изненадващ е факта, че първоначалното нагриване на системата (мелница, работна среда, смилан материал) не предизвиква ускоряване, а напротив оказва забавяне на момента на формиране на по-плътни агрегати, което противоречи на кинетичната теория на Djingizian относно процеса на наситняване.



Фиг. 6. Зависимост между температурата на системата мелница – работна среда – смилан материал и времето. Време на формиране на по-плътни агрегати (защрихованата площ)

Въздействието на температурата вероятно трябва да се търси в друго направление и по точно относно процесите протичащи на повърхността на частиците. Вероятно е повишаването на температурата да предизвиква по-бързо повърхностно окисление и по този начин невъзможност за агрегиране.

Неочакван е и факта, че показаните графики (Фигура 51) много малко се влияят от вида на технологичния процес – мокър или сух. При мокрия технологичен процес температурата е в по-ниски стойности, но момента на образуване на плътни агрегати се запазва в същия отрязък от време, както при сух технологичен процес.

Заклучение

Наситняването на метали и сплави и в частност на ковки и пластични метали и сплави е сериозен проблем при нормални условия, т.е. при нормална температура и налягане. Проведените изследвания с металите Al, Sn, Cu, Ca, Sb, Pb и някои сплави, като Pb-Ca и Pb-Sb показаха, че при подходящи технологични схеми с използването на различни на вид, форма и плътност работни среди в нормални условия (температура и налягане) наситняването е възможно.

За ускоряване на процеса сухо смилане на споменатите ковки и пластични метали и сплави са експериментирани разнообразни масла и органични вещества, като олеинова киселина, машинно масло, трансформаторно масло, OPSt и др. По-голяма част оказват осезаем ефект в посока на ускоряване на наситняването. Особено висока ефективност (до няколко пъти по-голяма в сравнение с олеиновата киселина) показва реагента OPSt.

При анализирането на получените експериментални резултати от смилането на изследваните ковки и пластични метали може да се направи извода, че кинетичната теория на Djingezian за смилането е неподходяща и не описва процеса смилане на ковки и пластични метали.

С използването на различни технологични схеми и работни среди включващи вибрационно смилане и вибрационно стриване от един и същи метал, например Al могат да се получат продукти отговарящи на изискванията на различни производства.

Литература

- БДС 10318-72. Алуминиеви пасты за лакобояджийската индустрия.
- Вернер. З., Некоторые исследования по измельчению мягких материалов, *Труды Европейского Сопещания Измельчению*, Госстройиздат, 1966.
- Джонс В.Д., Производство металлических порошков, Мир, Москва, 1964.
- Kuzev L., Hristov N., Vibrating Grinding – an Approach for Use of Refuse Metallic Aluminum. *Proceedings of the 8th International Mineral Processing Symposium*, Antalya, Turkey, 2000.