

## ИЗПОЛЗВАНЕ МЕТОДИТЕ НА ОБОГАТЯВАНЕ ЗА ИЗВЛИЧАНЕ НА ЖЕЛЯЗО ОТ НЕКОНДИЦИОННИ ПРОДУКТИ И ОТПАДЪЦИ ОТ ПРЕРАБОТВАНЕТО НА ЖЕЛЕЗНИ РУДИ

**Величка Христова**

*Филиал - Кърджали на Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски” – София, 6600 Кърджали, hristova\_velichka@abv.bg*

**РЕЗЮМЕ.** През последните години се налага преработване на железни руди с намалено метално съдържание и е необходимо разработване на нови технологии за получаване на качествени концентрати от бедни железни руди. Чрез прилагане на нови технологични схеми може да се преработват и техногенни отпадъци от предишни и настоящи производства. Независимо каква е суровината, тя се подлага на преработване, за да се получат железни концентрати с определени качествени и количествени показатели, както и да се постигне по-ефективно използване на суровините.

Настоящата работа е посветена на изследване на некондиционен желязосъдържащ продукт, получен при преработването на железни руди. Този продукт е получен при обогатяване по технология, включваща магнитна сепарация в сепаратори с високоинтензивно магнитно поле. Съдържанието на желязо в него е около 42%. Изследва се приложението на различни методи за обогатяване, за да се повишат технико-икономическите показатели на некондиционния продукт. Целта е получаване на подходящ търговски продукт с пазарна реализация. Чрез прилагане на нова технологична схема е установена възможността за дообогатяване на некондиционния продукт. Най-ефективен метод на обогатяване се оказва флотационният. Постига се получаване на железен концентрат с добри технологични показатели. Изследва се и шламът, получен като отпадъчен продукт при протичането на флотацията. Той е с високо съдържание на желязо и се цели да се намерят методи за извличане на железните шламови частици. Проведени са експерименти за пелетизация на получения флотационен железен концентрат. Доказана е възможността за получаване на пелети с добри характеристики за доменно производство.

**Ключови думи:** железни руди, некондиционни продукти, отпадъци, обогатяване, флотация, пелетизация

## USING BENEFICIATION METHODS FOR EXTRACTION OF IRON FROM LOW-GRADE MATERIAL AND WASTE FROM PROCESSING OF IRON ORES

**Velichka Hristova**

*Kardzhali Branch of the University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski" - Sofia, 6600 Kardzhali, hristova\_velichka@abv.bg*

**ABSTRACT.** Recently, iron ores with decreased metal content have to be processed and this requires development of new technologies for obtaining quality concentrates from poor iron ores. Technogenic waste from past and present beneficiation can be processed through the application of new technological schemes. Irrespective of the raw material, it undergoes processing to produce good quality iron concentrates, as well as to achieve more efficient use of raw materials.

This work is devoted to studying a low-grade iron product resulting from iron ore processing. The product is obtained by beneficiation with the aid of high intensity magnetic field separation. The iron content in the obtained material is about 42%. Different beneficiation methods have been studied, aimed at increasing the technical and economic parameters of the standard product. The aim is to obtain appropriate marketing product. The possibility has been established for further beneficiation of the studied low-grade product by applying a new flowsheet. Flotation turns the most effective beneficiation method. Iron concentrate with good technological parameters has been obtained. Fines, produced as a waste product in the course of flotation have been studied. The fines are with high iron content and the intend is to find methods for the iron extraction from particles. Experiments were conducted for the pelletization of the resulting iron flotation concentrate. Pellets obtained show good characteristics for iron blast production.

**Key words:** iron ores, low-grade material, waste, beneficiation, flotation, pelletization

## Въведение

Минералните ресурси са ограничени и невъзстановими полезни изкопаеми, който изискват комплексно и екологосъобразно усвояване. От съществено значение е това за рудите, тъй като тенденцията, характерна за целия свят, е към намаляване на металното им съдържание. В това отношение не прави изключение и желязната руда. Напредва отработването на големите и богати находища в света, а откриването на нови източници на минерални суровини става все по-сложно и скъпо струващо. В експлоатация се въвеждат находища на бедни железни руди, които изискват ефективно преработване. Това

налага необходимостта от разработване на нови технологии за получаването на качествени концентрати от бедни железни руди. За създаване на ефективни технологии е необходимо задълбочено изучаване на веществения състав на рудите и технологичните им свойства.

Нарастващото търсене на железни руди за черната металургия насърчава преработването на трудно обогатими и бедни на метално съдържание железни руди, които изискват сложни комплексни технологии на обогатяване и използване на съвременна техника. В практиката трайно навлиза стремежът към комплексното оползотворяване на добитите руди. През последните

години се наблюдава и нарастване на интереса към отпадъка, получен при преработването на железни руди, включително и към натрупан отпадък в отпадъкохранилища. Възможностите за преработването на тези отпадъци ги превръщат в ценна суровина.

В България са преустановени добивът и преработването на железни руди. Към момента липсват стратегии за възобновяване добива на железни руди в страната и развитие на черната металургия.

Настоящата работа представя получените резултати от дообогатяването на некондиционен желязосъдържащ продукт, получен при преработването на железни руди. Продуктът е получен при обогатяване по технология включваща магнитна сепарация, след трошене и смилане, в сепаратори с високоинтензивно магнитно поле. Съдържанието на желязо в него е около 42%. Поради ниското съдържание на желязо, магнитната фракция се натрупва и няма потенциални купувачи. Необходимо е търсенето на ефективни методи за дообогатяване на този материал, за да се получи търговски продукт с пазарна реализация (със съдържание на желязо около 52-53%). Немагнитната фракция, съдържаща барит, е подложена на баритна флотация и е добиван баритен концентрат, който намира пазарна реализация (Дамянов, 1992). Изследвани са влиянието на смилането върху разпределението на желязо по класи, флотационното обогатяване на некондиционния желязосъдържащ продукт след смилане и пелетизацията на получения железен концентрат. Целта е получаване на пелети от железния флотационен концентрат за доменното производство, с подходящи якостни качества. Намирането на нова технологична схема и получаването на краен търговски продукт за реализация на международния пазар за метали е от значение в икономически, социален и екологичен аспект.

## **Обща технологична схема за преработване**

Желязосъдържащите суровини, които се използват за доменното производство, трябва да отговарят на определени изисквания както по своя химичен и минерален състав, така и по физикохимичните и физичните си свойства (Вълчев и др., 1975). В тази връзка, независимо каква е суровината - желязна руда, добита от рудници, некондиционен продукт от обогатителен процес или отпадък от минало или настояще промишлено производство, тя се подлага на обогатяване за придобиване на определени качествени и количествени показатели. С обогатяването се цели да се понижи до минимум съдържанието на скални и вредни примеси в железните руди, продукти или отпадъци от обогатяване, за да се повиши съдържанието на метал (желязо) в тях. Всички методи на обогатяване са основани на разликите в свойствата на рудния минерал и скалния примес. Именно разликата, която съществува в даден случай определя и метода, който трябва да се приложи. Към настоящия момент над 85% от добитите железни руди се подлагат на обогатяване. Делът на обогатяването се е увеличил значително. развитието на процеса на обогатяване се характеризира с интензификацията на основни и подготвителни процеси поради влошаващото се качество

на добитата желязна руда и все по-нарастващите изисквания към качеството на железния концентрат.

Технологичната схема за преработването на желязосъдържащи суровини включва следните основни етапи: трошене и смилане, пресяване и класификация, обогатяване, усредняване и уедряване чрез агломерация, пелетизация или брикетирание (Клисуранов и Денева, 1986; Аврамов и др., 1994; Дракалийски и Цанев, 1998). В практиката се прилагат различни комбинации от изброените методи за преработване. Колкото желязосъдържащите суровини са по-бедни, толкова те преминават през по-голям брой методи за преработване.

С прилагането на процесите трошене и смилане, пресяване и класификация при преработването на желязосъдържащите суровини се постига оптималната едрина и разкриване на желязо-носещите фази от срастъците, важна предпоставка при последващото обогатяване.

Известно е, че за обогатяването на железни руди с ниско полезно съдържание се използват различни методи: магнитна сепарация, флотация, гравитационен метод, магнетизиращо пържене.

Флотационният метод е ефективен при обогатяването на определен вид слабо магнитна руда.

Гравитационния метод е широко разпространен, но той е подходящ само за определен вид железни руди, като за неговото прилагане и осъществяване е необходимо значително количество вода. Този метод не е възможно да бъде използван в райони с недостиг на вода.

Магнетизиращото пържене е скъп процес, затова най-често се използва магнитната сепарация за обогатяване на бедни железни руди. Магнитният метод е ефективен и икономически целесъобразен при обогатяването на определени типове фино впръсната желязна руда.

Целта на усредняването е да се намали колебанието в химичния състав и физичните свойства на материала, т.е. да се стабилизира качеството. Усредняването трябва да се осъществява във всички етапи на преработка на материала.

Получените железни концентрати се подлагат на уедряване. Прилагат се три метода на уедряване – брикетирание, агломерация и пелетизация. От тях първият метод вече се използва много рядко. Другите два метода намират по-голямо разпространение.

Необходимо е да бъдат изследвани различни комбинации от методи, за да бъде ефективно обогатяването на железни суровини с ниско метално съдържание.

## **Прилагане на нова технологична схема и получени резултати от преработването на изследвания материал**

Изследвано е влиянието на смилането върху разпределението на желязо по класи и е определено оптималното време на смилане. Досмилането на материала води до по-пълно разкриване на железните

минерални частици от срастъците. Постига се повишено съдържание на желязо във фината класа.

Доказано е, че магнитната сепарация се явява неефективен метод за преработването на некондиционния материал, получен при преработването на кремиковските желязосъдържащи руди.

Проведени са редица флотационни експерименти с различни реагенти и при различни условия. Установена е възможността за дообогатяване на некондиционния материал чрез флотационен метод и получаване на добри технологични показатели. На фигура 1 е представена принципната технологична схема. Постига се получаване на железен концентрат с приемлив добив и извличане, съдържание на желязо 53,91%.

Крайната цел на цялата технологична схема е получаване на пелети от железния флотационен концентрат, които да са подходяща суровина за доменно производство. Постигането на тази цел ще направи продаваем дообогатения некондиционен материал.



Фиг. 1. Схема на флотация на некондиционния железен материал

Полученият шлам, който се явява отпадък от флотационното обогатяване, е със значително съдържание на желязо - 37%. Това се получава заради

досмилането, което води до вторично шламуване на железните минерали. Проведени бяха изследвания с прилагане на флокулацията като метод за обогатяване за постигане на максимално извличане на желязото от шлама. Постигнатите приемливи резултати от проведените изследвания дават основание същите да бъдат задълбочени за изясняване на въпроси, свързани с необходимите количества реагенти, приложение на двукомпонентна система – флокулант-коагулант и избор на метод за селекция и обогатяване на шлама. Отделянето на шламовите желязосъдържащи частици ще доведе до по-ефективно използване на материала.

### Уедряване на получения железен концентрат чрез пелетизация

Уедряването на желязосъдържащите суровини е необходимо за осъществяване на металургичната им преработка. Основно предимство на уедряването е възможността да се осъществи предварително офлюсоване на суровините. Характерна особеност на уедряването чрез пелетизация е, че при този процес се осъществява получаването на окупнен продукт с нови металургични свойства, които не са характерни за природните суровини (Дракалийски и Цанев, 1998). За осъществяване на пелетизацията, към ситния железен концентрат се добавя вода и чрез механично движение на концентрата от него се образуват сурови сферични тела наречени пелети, които след това се уякчават чрез високотемпературна обработка.

Проведени са опити за пелетизацията на получения флотационен железен концентрат, отговарящ на необходимите качествени и количествени показатели. При провеждане на опитите са прибавени по 1% бентонит, за увеличаване якостта на пелетите, 20% вода. Диаметърът на направените сурови пелети беше между 9 – 15 mm. Пелетите се изсушиха в сушилни при 200° С. Сушенето увеличава якостта им и по този начин се предпазват от разрушаване при високотемпературното нагряване. Уякчаването на пелетите се извърши в пещ при температура 1000° С. Времето за редукция при тази температура – 1 час. Като редуктор са използвани 20%, спрямо масата на пробата, кафяви въглища с едрина 5 – 0 mm.

### Изследване свойствата на пелетите

Качеството на изпечените пелети се определя от гранулометричния им състав, якостните им показатели и химическия състав.

Необходимо е изпечените пелети да имат якост на натиск 1,5 - 2,5 kN (Вълчев и др., 1975).

Изследвана е якостта на разрушаване на 6 броя пелети в лабораторна преса. Определен е диаметърът на всеки пелет и е претеглена неговата маса. Натискът на разрушаване е определен в kg и kN. Данните от отделните проби са обработени статистически, като са изведени осреднени данни за диаметър, маса и натиск на разрушаване. Резултатите от лабораторните изследвания са представени в таблица 1.

Таблица 1.

Резултати от якостните изследвания на пелетите

№ пелет	Диаметър (mm)	Маса (g)	Максимален товар на разрушаване	
			kg	kN
1	13	3,08	212,00	2,08
2	10	2,55	153,00	1,50
3	12	2,71	181,00	1,78
4	11	2,63	158,00	1,55
5	12	2,89	208,00	2,04
6	14	3,67	230,00	2,26
Средни стойности	12	2,92	190,33	1,87

Якостта на изследваните пелети достига до средна стойност от 190 kg/пелет. При ръчното произвеждане на пелети трудно се достига сферична форма, еднакви размери и маса, което се отразява на по-голямото отклонение в якостните параметри. Освен това процесът е бавен и трудоемък. Въпреки това, пелетите са с добри якостни характеристики. Това, че флотационният концентрат е фин е предимство за здравината на пелетите.

Извършени са химически анализи на изследваните пелети. Средното съдържание на Fe<sub>общо</sub> е 65%. Пелетите, получени от некондиционния материал са с добри химически параметри. Съдържанието на олово в пелетите е 0,04-0,06%, което е от съществено значение.

## Изводи

Проведените изследвания дават възможност да се оцени приложимостта на флотационните методи за обогатяване на некондиционен материал и отпадък, получен при преработването на железни руди.

Установено е, че магнитната сепарация е неперспективен метод. Обещаващ метод, даващ добри резултати е флотационният, осъществен по предложената схема.

От новополучения флотационен железен концентрат при проведените експерименти се получиха пелети с добри показатели за доменно производство.

Изследваният материал може да се преработи първо по флотационен път и след това чрез пелетизация да се получи краен търговски продукт, подходящи пелети за доменно производство.

## Литература

- Клисуранов, Г. С., А. Денева. *Технология и техника за обогатяване на руди и нерудни полезни изкопаеми*. С., „Техника“, 1986.
- Аврамов, А., И. Иванчев, Ц. Цанев. *Металургия на желязото*. С., „Техника“, 1994. -23 с.
- Вълчев, И. И., К. А. Санкева, М. М. Табакова, И. Б. Черкезов. *Металургия на чугуна*. С., Техника, 1975. - 36 с., -112 с.
- Дамянов, Ж. Минераложка оценка на продуктите от полиградиентна магнитна сепарация на руди от находище „Кремиковци“. - *Минно дело и геология*, 5, 1992. -23-28.
- Дракалийски, Х. Д., Ц. П. Цанев. *Металургия на чугуна*. С., Съвместно издание на „Техника“ ЕООД и „Кремиковци“ АД, 1998. -17-18 с., -35 с., -55 с.

## Благодарност

Работата е изготвена с финансовата подкрепа на средствата по Наредба № 9, договор ФК-014/2015.

Статията е рецензирана от проф. В. Панайотов и препоръчана за публикуване от кат. „Химия“.