

МАГНИТНО РАЗДЕЛЯНЕ НА ХРОМСЪДЪРЖАЩИ ЛАТЕРИТИ

Константинос Христос Гудуляс

Technological Education Institute
Tei Kozani, Hellas

РЕЗЮМЕ

Извършени са изследвания за разделяне на рудата чрез използване на разликата в магнитните свойства на минералите. В лабораторни условия са изследвани влиянието на магнитната индукция и напречния наклон на Франц-изодинамичен сепаратор. Извършени са опити с руда, смилана различно време. При установените оптимални едрини са извършени опити с полупромишлени сепаратори – плосък сепаратор Джоунс и сепаратор с кръстосани ленти. Установени са оптималните условия на обогатяване на хромитната суровина.

ВЪВЕДЕНИЕ

С развитието на обогатителните технологии, разработката на второстепенни и бедни находища придобива все по-голямо значение. Така например, за добива на хромит интерес представляват хромсъдържащите латерити, които се образуват от изветрянето на ултрабазични скали (Savvidis, S., Cargiotis, E., 1997.). Този вид скали могат да се разработват без особено големи разходи. Обогатимостта на латеритите е облекчена от констатираните разлики в смислаемостта и магнитните свойства на съдържащите се в тях минерали.

На изследване бяха подложени хромсъдържащи латерити от Филипините. Целта бе да се провери възможността от приложение на магнитни методи за получаване на хромитен концентрат. Основание за тези изследвания дадоха предварителните проучвания на магнитните свойства на съдържащите се в рудата минерали.

МЕТОДИ И АПАРАТУРА

В едрите класи от смления продукт, които не съдържат лимонитови агрегати, се наблюдават съпътстващи минерали, като магнетит, силикатни минерали и др. Установено е, че тяхните магнитни свойства са различни от тези на хромита и биха могли да бъдат обогатявани чрез магнитно разделяне.

Чрез селективно смилане срастналите с хромитните зърна различни жилни минерали се разкриват. Тези които не могат да бъдат разделени, в повечето случаи са силно магнитизирани. За да се получи висока степен на

обогатяване на хромитния концентрат, срастналите зърна, съдържащи малък процент хромит, трябва да бъдат разделени чрез магнитни методи.

За целта бе използван "Франц-изодинамичен сепаратор". За изпробване на приложимостта на резултатите от разделянето в полутехнически мащаб бяха използвани "Джоунс-сепаратор" и "Сепаратор с кръстосани ленти".

Пробите бяха изсушени при температура 50°C. Параметрите на класификатора бяха установени предварително.

Първото разделяне на материала бе проведено при магнитна индукция 20 mT. По нататък опитите бяха проведени при по-висок интензитет на магнитното поле. Магнитната индукция бе увеличавана на степени, като се започна от 20 mT и се достигна до 120 mT (фиг. 1).

ОБОГАТЯВАНЕ НА ХРОМИТ ЧРЕЗ ФРАНЦ-ИЗОДИНАМИЧЕН КЛАСИФИКАТОР

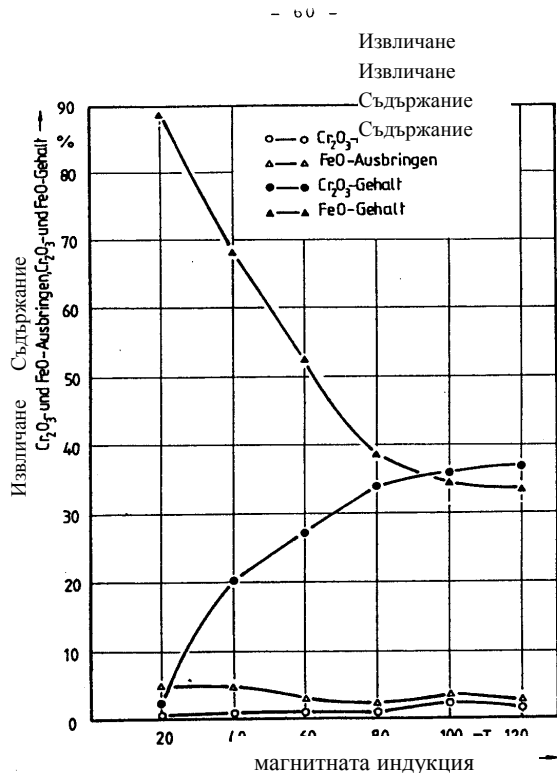
Предварителни опити за отделяне на магнетит

За опитите бе използвана класата 100 μm. Съдържанието и извличането на Cr₂O₃ и FeO в магнитната суровина са в зависимост от индукцията. При магнитна индукция 20 mT се отделят феримагнитните, т.е. силно магнитизирани минерали. Съдържанието на FeO е 88,6% при извличане 0,1%. Съдържанието на хромит се състоеше най-вече в участието на хромитни йони в решетката на магнетита и малка част срастнал хромит.

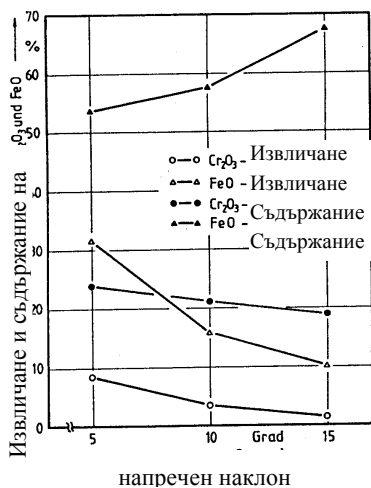
При магнитна индукция 40 mT (фиг. 2) съдържанието на FeO намаля на 68,3%, а извличането беше 4,9%. Обратно на това, съдържанието на Cr₂O₃ се увеличи на 20,3%, а

извличането му на 0,9%. В случая се касае главно за силно магнитизирани минерали, срастнали с хромита. Зърната бяха с магнетит или мартитизирал магнетит. В материала се срещаша срастнали един с друг магнетит и мартитизиран магнити.

Извличане
Извличане
Съдържание
Съдържание



Фигура 1. Извличане и съдържание на Cr₂O₃ и FeO в магнитния продукт на Франц – изодинамичния разделител в зависимост от магнитната индукция



Фигура 2. Извличане и съдържание на Cr₂O₃ и FeO в магнитния продукт в зависимост от напречния наклон на класификатора при магнитна индукция 40 mT.

Намаляване на съдържанието на FeO, респ. увеличаване на съдържанието на Cr₂O₃ се наблюдава при индукция между 60 и 80 mT. При това не бяха наблюдавани несрастнали феримагнитни минерали. От металното съдържание на продуктите може да се разбере, че богатите на желязо срастнали зърна трябва да бъдат разделени като скален материал. При това не могат да бъдат избегнати малкото загуби на хромит.

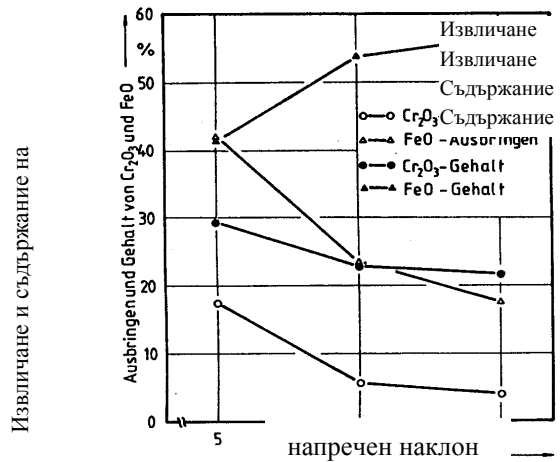
При още по-висока индукция съдържанието на Cr₂O₃ в магнитния продукт чувствително се увеличава. Така например, при магнитна индукция 120 mT съдържанието на Cr₂O₃ е 38,3%, при извличане 1,7%, а съдържанието на Fe в суровината бе 31,9%. Съотношението Cr/Fe е 1,06.

РАЗДЕЛЯНЕ НА ХРОМИТА ЧРЕЗ СУХ МАГНИТЕН МЕТОД

При опитите за обогатяване на хромита чрез сухо магнитно разделяне бяха използвани класите >100 μт и 100-163 μт. Тъй като класата 63-20 μт е съставена повече от лимонитни агрегати, тя не може да бъде обогатявана чрез магнитно разделяне.

Разделянето на суровината чрез магнитен метод протича двустепенно. Получават се три продукта:

- 66 -



Фигура 3. Извличане и съдържание на Cr₂O₃ и FeO в магнитния продукт в зависимост от напречния наклон на класификатора при магнитна индукция 60 mT.

един богат на желязо продукт; хромитен концентрат и отпадък. Магнетитът и силно срастналите с магнетит зърна бяха разделени при магнитна индукция 480 mT. На табл. 1 са показани резултатите от това разделяне.

Данните от разделянето на класа >100μт са показани в табл. 2. С увеличаване времето на смилане количеството на богатия на желязо продукт намалява от 6,7 на 3,2%.

Същевременно намалява и извличането на Cr_2O_3 от 3,6 на 1,6%. Металните съдържания показват, че при тези условия на смилане една част от срастналите с магнетита хромитни зърна не бяха разделени. Така например при време на смилане 20 min съдържанието на Cr_2O_3 в железния продукт е 18,2%, при извличане 1,6%. Това количество хромит трябва да бъде разделено от железния концентрат. Чрез разделянето на богатият на желязо продукт и отпадъка бе получен хромитния концентрат. Суровината, която бе наситнявана в продължение на 5 min имаше високо извличане на хром в концентрата – 95,1%. Обогащаването на Cr_2O_3 се увеличи от 31,5% на 37,4%, но по принцип не беше високо. Останалите в материала лимонитни агрегати бяха отделени главно заедно с хромита. При това съдържанието на FeO в концентрата бе много високо 29,4%.

Тъй като при време на смилане 10 min в класата $>100\mu\text{m}$ почти липсваха лимонитни агрегати, съдържанието на Cr_2O_3 в концентрата силно се увеличи в сравнение с продукта смилан за по-малко време. Съдържанието на Cr_2O_3 в концентрата възлизаше на 42,9% при извличане 96,2%.

Таблица 1. Тегловно разпределение и разпределение на метала за латеритна хромитна руда на магнитните продукти при различна магнетизираност ($\rho > 4.1$)

При увеличаване времето на смилане резултатът магнитното разделяне се подобри още повече. При време на смилане 15 min съдържанието на Cr_2O_3 в концентрата бе 44,5% при извличане 96,8%. При съдържание на 24,1% съотношението Cr/Fe е 1,62. Металните съдържания показват, че една част от този концентрат все още съдържа сраснали с железните минерали хромитни зърна. Едно увеличение на времето на смилане на 20 min доведе до ново увеличение на съдържанието на хром. От този резултат може да бъде направено заключението, че при тези условия на смилане суровината не трябва да бъде смилана повече от 15 min, тъй като голяма част от хромита ще премине във финната класа.

При индукция 480 mT малка част от хромита не се магнетизира, и по този начин премина в отпадъка заедно със скалните минерали.

Химичният състав на тези хромитни шпинели определя техните магнитни свойства. Съдържанието на FeO в зърната варираше между 13,3 и 16,5%, докато съдържанието на MgO бе между 14,3 и 17%.

Това показва, че феромагнитните Fe^{2+} - йони са заместени с парамагнитни Mg^{2+} йони. Тъй като магнитната проницаемост на тези зърна въобще не се различава от желязо съдържащите силикатни минерали, те не могат да бъдат разделени чрез магнитен метод. Извличането на Cr_2O_3 в отпадъка варира между 1,3 и 1,7%.

Както показва табл. 3, разделянето на богатия на желязо продукт за класата с едрина 100-63 $\mu\text{т}$ показва почти същата тенденция, както и класата >100 $\mu\text{т}$. Тъй като магнитното разделяне на продуктите, съдържащи

лимонитни агрегати бе проведено заедно и с хромит, съдържанието на Cr_2O_3 в концентрата не достигна високи стойности. С увеличаване времето на смилане се увеличи и съдържанието на Cr_2O_3 от 31,1% на 38,2%. Поради голямото съдържание на FeO , съотношението Cr/Fe се променяше между 0,86 и 1,29. Тази класа следва да бъде обогатявана чрез други сортировачни методи.

Влияние на напречния наклон на класификатора върху резултатите от разделянето

Съдържанието на Cr_2O_3 в магнитния концентрат на класата $>100\mu\text{m}$ не може да достигне стойностите на същия продукт, само че извлечен от първична руда. Една

част от латеритния концентрат се състои от хромитни зърна с ниска стойност на съотношението Cr/Fe . Тъй като тези зърна се магнитизират по-лесно от тези, които не са срастнали с хромит, то те трябва да бъдат разделени, за да може да бъде достигнато по-добро обогатяване на хромитния концентрат.

Според срастването зърната се магнитизират различно, така че те могат да бъдат разделени чрез степен на увеличаване на магнитната индукция без образуване на агрегати. Тъй като в промишлени условия разходите за магнитно разделяне са много високи, на практика този начин на обогатяване не се използва за хромит.

Магнитното разделяне трябва да бъде проведено двустепенно. В първият етап трябва да бъдат отделени железните минерали и срастналите с тях зърна с ниско съотношение Cr/Fe . Затова е необходима висока индукция. Чрез същевременно увеличаване на магнитния градиент на полето се наблюдава и увеличаване на действието на магнитните сили между зърната. Образуват се и магнитни агрегати, в които могат да участват зърна, които са слабо магнитизирани. В следствие на това класификатора може да бъде задръстен от образувалите се агрегати.

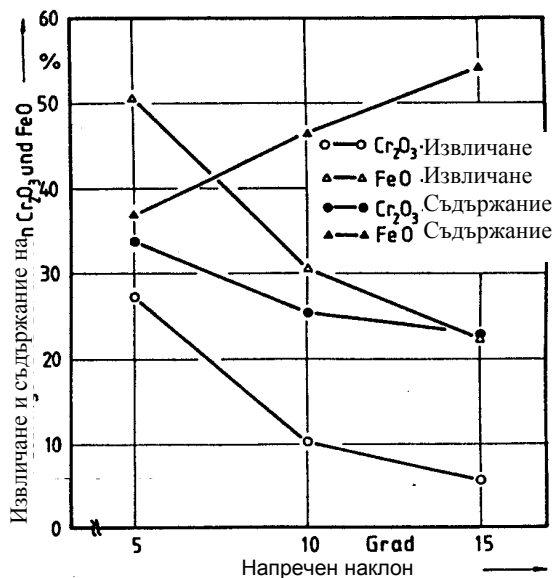


Таблица 2. Резултати от магнитното разделяне на класата с едрина $>100\mu\text{m}$.

Фигура 4. Извличане и съдържание на Cr_2O_3 и FeO в магнитния продукт в зависимост от напречния наклон на класификатора при магнитна индукция 80mT .

Чрез намаляване на напречния наклон на класификатора намалява и гравитационната сила F_g , действаща върху зърната. Това означава едно относително увеличаване на магнитната сила F_m . По този начин от една страна се подтиква образуването на агрегати, а от друга страна се подобрява разделянето на материала.

Разделителното поведение на суровината трябва да бъде съблюдавано в зависимост от магнитната индукция и напречният наклон. При опитите напречният наклон на класификатора беше променен на 5° , 10° и 15° . Класата с едрина $>100\mu\text{m}$ и смляна в продължение на 15 min. бе подадена на магнитен класификатор.

Отначало опитите бяха проведени при магнитна индукция 40mT . На фиг. 2 са нанесени извличането и съдържанието на Cr_2O_3 и FeO на магнитния продукт. При напречен наклон на класификатора 5° се осъществи високо разделяне на материала, съдържащ FeO . Съдържанието на FeO в получения продукт възлиза на $53,7\%$ при извличане $31,3\%$, като съдържанието на Cr_2O_3 бе $23,9\%$ при извличане $8,3\%$. Този резултат от разделянето показва, че при сравнително висока степен на обогатяване на хромитния концентрат се наблюдава и неизбежна висока загуба на хром.

Таблица 3. Резултати от магнитното разделяне на класата с едрина 100- 63 μm .

Чрез увеличаване на напречният наклон загубата на хром намаля. Намаляването на извличането на FeO бе още по-голямо в сравнение с това при индукция 40 mT.

В следствие на магнитното образуване на агрегати магнитната индукция трябва да бъде ограничена до 80 mT.

При напречен наклон 10° извличането на хром рязко спадна. Същевременно извличането на FeO беше 15,8%.

В следващите опити материалът беше разделян при магнитна индукция 60 mT. На фиг. 3 се вижда, че слабо покачване на индукцията води до значително увеличаване на магнитната сила, действаща върху минералните зърна. При напречен наклон 5° съдържанието на FeO беше 41,7%

при извличане 41,9%; съдържанието на Cr_2O_3 беше 29,4% при извличане 17,6%.

Това показва, че с увеличаващата се индукция напречният наклон на класификатора оказва все по-силно влияние върху резултата от разделянето. При напречен наклон 10° респ. 15° се получиха по-ниски стойности на извличането на FeO и високо съдържание на FeO , съответно 53,8 и 56,5%.

Най-накрая бяха проведени опити при магнитна индукция 80 mT. На фиг. 4 са показани резултатите от разделянето на магнитния продукт. При този интензитет на полето се наблюдава образуване на магнитни агрегати. Този процес доведе до увеличено извличане на хром в магнитния продукт. При напречен наклон 5° съдържанието на Cr_2O_3 беше 33,9%, а извличането 27,4%. При напречен

наклон 10° извличането на Cr_2O_3 беше 10,2%, а на FeO 30,6%. В сравнение с другите резултати, като например тези при индукция 40 mT и напречен наклон 5° , сегашните резултати не са толкова добри.

За обогатяване на хромитния концентрат на два етапа бе подаден не магнитен материал на Франц-изодинамичен класификатор. При това магнитната индукция беше 480 mT, а напречният наклон 15° . Резултатите от разделянето на концентрата са показани в табл. 4 към приложението. Чрез отделянето на силикатните скални минерали, материалът, чиито богати на желязо зърна бяха отделени при магнитна индукция 40 mT, беше обогатен с малка загуба на хром. Съдържанието на Cr_2O_3 на концентрата варираше между 44,5 и 47,1%, а извличането между 96,8 и 90,2%.

Таблица 4. Резултати от магнитното разделяне за класата $>100\mu\text{m}$ при различна магнитна индукция и различен напречен наклон на класификатора

Разделянето на богатите на желязо зърна при индукция 60 mT бе съпътствано с високо съдържание на хром в концентрата. При напречен наклон 5° съдържанието му беше 48,6 % при извличане 80,9%. При съдържание на FeO 20 % съотношението Cr/Fe на концентрата беше 2,15. Този резултат показва, че сростналите с железни минерали хромитни зърна бяха почти напълно разделени.

Материалът, от който бяха отделени богатите на желязо частици при магнитна индукция 80 mT и напречен наклон 5° показва почти същото съдържание на Cr_2O_3 в концентрата, както и при 60 mT. При това извличането на хром чувствително намаля и достигна стойността 71,2%. При тези параметри на разделяне богатите на хром зърна бяха отделени, като магнитен материал.

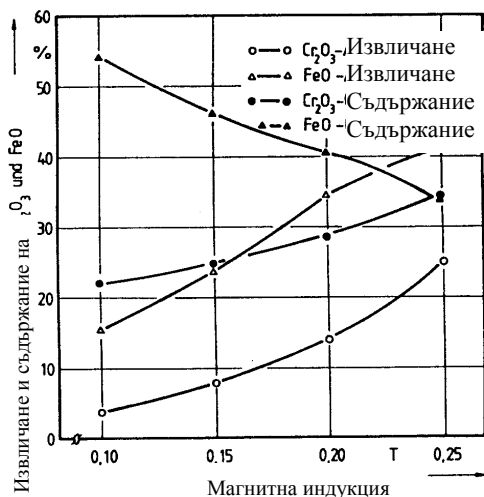
Резултатите от разделянето показват, че двустепенното магнитно разделяне води до високо съдържание на Cr_2O_3 в концентрата. При това може да бъде намалено и образуването на агрегати. За разделяне на богатите на желязо частици трябва да бъде използвана възможно най-малка магнитна индукция.

ОБОГАТЯВАНЕ НА ХРОМИТ С ПЛОСЪК КЛАСИФИКАТОР ТИП ДЖОУНС

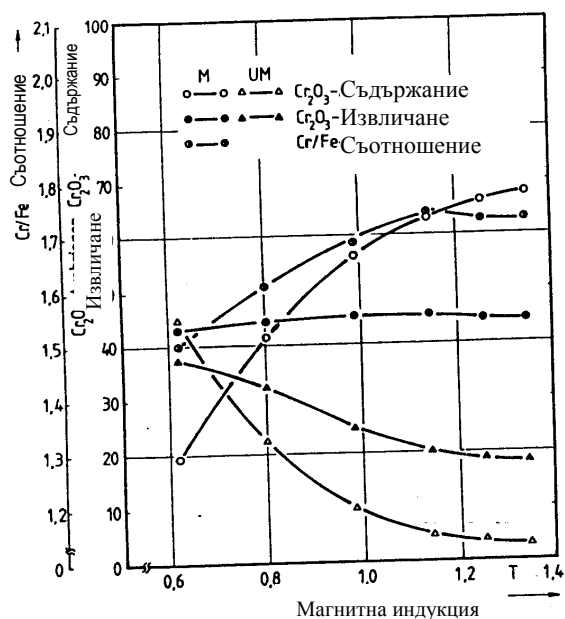
За практическото приложение на магнитното разделяне при обогатяването на хромит от латеритна руда трябва да се видят резултатите от Франц изодинамичният класификатор. За разделянето на минералните суровини много често се използва сух

класификатор със силно поле, тип Джоунс на фирмата Humboldt-Wedag. Гореспломенатите едрини на материала определят широчината на каналите между профилите на плоскостта (Wenz, Aufbereitungs-Technik, S. 142/149 (1973) –f) (1). Съдържанието на твърдо вещество в пулпа е 40 %. За да бъдат разделени богатите на желязо минерални частици беше използвана магнитна индукция, варираща между 0,10 и 0,25Т. Скоростта на въртене на ротора възлиза на 3,4 m/min. Магнитната суровина се движи върху повърхността на плочата посредством отмиване с вода под налягане 4 бар. За всеки опит се използва проба около 10 кг. На фиг. 5 са показани съдържанието и извличането на Cr_2O_3 и FeO . В този интервал на индукцията протича разделяне на материала без задръстване на каналите.

От кривите може да се види, че в областта 1,10-0,20Т протича най-добро разделяне на богатите на желязо зърна. Извличането на FeO нараства от 15,5 на 34,6%, като извличането на Cr_2O_3 също нараства от 3,8 на 14,4%. В магнитната суровина, която беше разделяна при индукция 0,20Т се намираха и слабо магнетизирани желязосъдържащи силикати като енстатит и богат на желязо кварц. В зоната на разделяне тези леки скални минерали са затворени в агломерати от силно магнетизирани желязни минерали. В следствие на това намалява съдържанието на FeO . При индукция 0,25Т извличането на Cr_2O_3 в магнитната суровина силно нараства в сравнение с извличането на FeO . При това се забелязва, че при тази индукция богатите на хром зърна се разделят като магнитен материал.



Фигура 5. Извличане и съдържание на Cr_2O_3 и FeO в магнитния продукт в зависимост от магнитната индукция при използване на плосък класификатор



Фигура 6. Извличане и съдържание на Cr_2O_3 в магнитния продукт (М) и в немагнитния продукт (НМ), както и съотношението Cr/Fe на магнитния продукт в зависимост от магнитната индукция при плоския класификатор тип Джоунс

В сравнение с резултатите, получени с Франц изодинамичен класификатор, може да се направи изводът, че при магнитна индукция 0,2Т разделяния немагнитен материал е подходящ за по-нататъчното обогатяване на хромита. Получения при такава индукция резултат е показан в следната таблица

Продукт	Добив [%]	Съдържание [%]	Извличане [%]		
			Cr_2O_3	FeO	Cr_2O_3
М	19.2	28.2	40.5	14.4	34.6
НМ	80.8	39.9	85.6	85.6	65.4
Общо	100.0	37.7	100.0	100.0	100.0

За обогатяването на хромитния концентрат магнитната индукция варираше между 0,62 и 1,35Т. Бяха получени три продукта: магнитен продукт (концентрат), средномагнитен продукт (междинен продукт) и немагнитен продукт (отпадък).

На фиг. 5 са представени извличанията и съдържанията на Cr_2O_3 на магнитния и немагнитния продукт, както и съотношението Cr/Fe . При индукция 0,62Т бе извлечена само малка част от хромита в концентрата. Съдържанието на Cr_2O_3 в концентрата беше 43,3% при извличане 19,7%, като такъв процесът протече с една

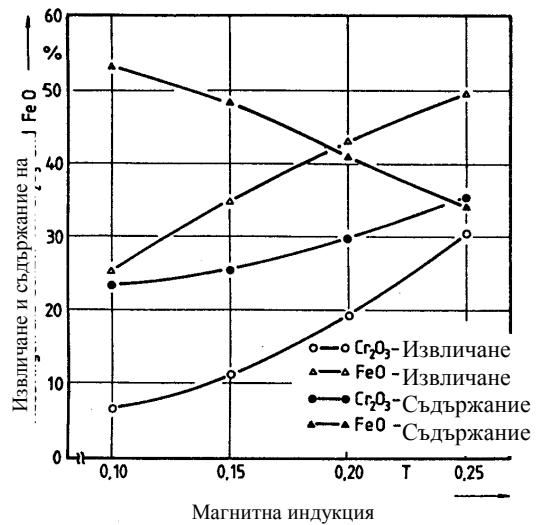
значително по-висока индукция в сравнение с тази на Франц-изодинамичния класификатор. Това показва, че при разделянето с плосък класификатор тип Джоунс при една и съща магнитна индукция съотношението между гравитационната и магнитната сила е по-голямо от същото, но при Франц-изодинамичния класификатор, така че бедните на желязо хромитни зърна се извличат като немагнитна или средномагнитна суровина. При това съдържанието на Cr_2O_3 на немагнитната проба беше 37,8% при извличане 44,4%.

При магнитна индукция 0,80Т извличането на хром в концентрата силно се увеличи на 41,7%. Съдържанието на Cr_2O_3 в пробата по нататък беше с по-ниска стойност-44,5%. Все още значителна част от хромита остана в отпадъка.

Беше необходима да се увеличи магнитната индукция за да може да се магнетизира останалия в междинният продукт и отпадъка беден на желязо хромит.

Най-високото съдържание на Cr_2O_3 в концентрата се достигна при индукция 1,14Т; то възлизаше на 45,6% при извличане 63,4%. Съотношението Cr/Fe е 1,74. Малка част от концентрата се състоеше от желязосъдържащи силикатни скални минерали, така че въпреки чувствителното увеличаване на извличането съдържанието на хромит не достигна високи стойности. При по-нататъчното увеличаване на магнитната индукция се увеличи както извличането на Cr_2O_3 , така и участието на силикатните скални минерали в концентрата. Така например при индукция 1,35Т съдържанието на Cr_2O_3 в концентрата беше 44,6%, като извличането нарасна на 30,3%.

В немагнитната проба извличането на Cr_2O_3 имаше много малка стойност 3,5%. Това показва, че в плоският класификатор тип Джоунс за желязосъдържащите силикатни минерали е в сила почти същото съотношение на силите както и за бедните на желязо хромитни зърна, въпреки, че първите имат по-ниска магнитна проникваемост в сравнение с тази на хромита. Причината за това са разликите в плътността. Лошият резултат от разделянето може да бъде подобрен чрез класификация на материала. За латеритните хромити приложеният метод не е от икономическо значение.



Фиг. 7. Извличане и съдържание на Cr_2O_3 и FeO на магнитния продукт в зависимост от магнитната индукция при класификатора с кръстосани ленти

С увеличаване на индукцията се увеличи и извличането на FeO от 25,3 на 49,7%, а извличането на Cr_2O_3 нарасна от 6,6 на 30,3%.

С индукция 0,2Т се целеше много добър резултат на разделяне, който може да бъде получен и с Франц-изодинамичния класификатор при 60 mT и напречен наклон 5°.

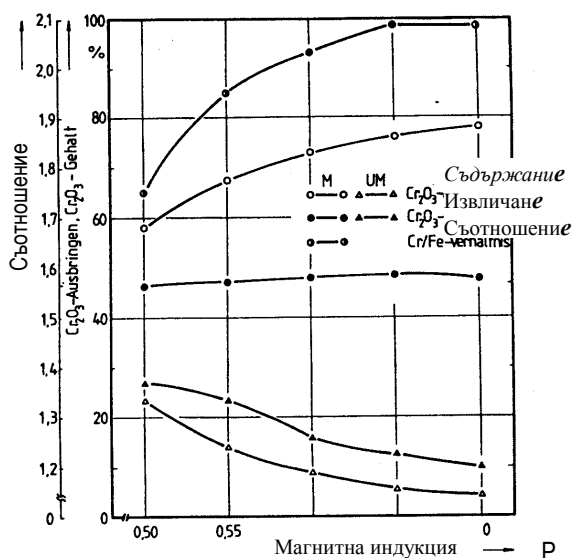
Резултатът от разделянето е показан в следващата таблица:

класификатор могат да бъдат пренесени в промишлени условия за сухо магнитно разделяне. За опитите бе използван класификатор с кръстосани ленти. Класификатора работи при следните условия:

магнитна индукция: 0,10-0,25Т и 0,50-0,70Т
 скорост на главната лента: 0,36т/sec
 скорост на напречната лента: 0,50m/sec
 количество на пробата: 10kg

Разделянето на скалните минерали от немагнитния продукт в първия етап на магнитното разделяне протече при магнитна индукция между 0,50 и 0,70Т. На фиг. 36 са представени съдържанието и извличането на Cr_2O_3 на концентрата и отпадъка, както и съотношението Cr/Fe на магнитния продукт в зависимост от магнитната индукция.

Ниското съдържание на Cr_2O_3 в концентрата – 44,6%, което беше получено при индукция 0,5Т показва, че една част от богатите на хром частици не е магнетизирала и е преминала в отпадъка като немагнитна суровина. С това извличането на Cr_2O_3 достигна същата ниска стойност – 58,2%.



Фигура 8. Съдържание и извличане на Cr_2O_3 в магнитния продукт (М) и в немагнитния продукт (НМ), както и съотношението Cr/Fe на магнитния продукт в зависимост от магнитната индукция за класификатор с кръстосани ленти. Немагнитния продукт е разделен при магнитна индукция 0,2Т.

ОБОГАТЯВАНЕ НА ХРОМИТ С КЛАСИФИКАТОР С КРЪСТОСАНИ ЛЕНТИ

По нататък бе направен опит да се провери, дали резултатите получени с Франц-изодинамичният

С увеличаване на индукцията се увеличава и съдържанието на хром в магнитния концентрат. При индукция 0,60Т съдържанието на Cr_2O_3 е 47,9% при извличане 72,8%, и съотношение Cr/Fe 2,03. При индукция 0,65Т бе достигната най-високото съдържание на хром в концентрата-48,2% при извличане 76,3%. При съдържание на FeO 20,3% съотношението Cr/Fe в концентрата е 2,08. При това се наблюдава загуба на Cr_2O_3 от 5,1%. Тази загуба може да бъде намалена чрез увеличение на индукцията. При индукция 0,70Т извличането на Cr_2O_3 е 3,8%. Въпреки, че желязосъдържащите силикатни скални минерали са магнетизирани и са извлечени като магнитен продукт, съдържанието на Cr_2O_3 в концентрата намалява. Стойностите са 47,8% при извличане 77,6%. При това съдържанието на FeO също намалява, така че съотношението Cr/Fe остава 2,08.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Извършените изследвания показаха, че разликата в магнитните свойства на минералите, които се съдържат в хромсъдържащите латерити могат да се използват за получаване на хромитен концентрат.

Извършените изследвания в лабораторен и полупромишлен вариант потвърдиха това.

ЛИТЕРАТУРА

Savvidis, S., Cargiotis, E. 1997. Die Serpentin – Gruppe Minerale im Vourinos Ophiolith-Komplex, Nord Griechenland. Oberhessische Naturwissenschaftliche Zeitschrift ISSN 0340-4498, Band 59, S. 91-101.

*Препоръчана за публикуване от
катедра "Минерални технологии" на МТФ*

MAGNETIC SEPARATION OF CHROMIUM-CONTAINING LATERITES

Konstantinos Hristos Gudulas

Tecnological Education Institute
Tei Kozani, Hellas

ABSTRACT

Investigations on the separation of ore, utilizing the difference in magnetic properties of the minerals were performed. The influence of the magnetic induction and the cross slope of Franz-isodynamic separator were studied in a laboratory scale. Experiments with ore ground for different durations were made. Experiments with semi-industrial separators – flat Jones separator and cross band separator were performed with the estimated optimal particle sizes. The optimal conditions for mineral processing of chromite material were found.

INTRODUCTION

The exploitation of less-important and poor deposits attracts growing attention along the recent development of mineral processing technologies. For example, chromium-containing laterites, formed by weathering of ultrabasic rocks, represent an interest in chromium production (Savvidis, S., Cargiotis, E., 1997.). Exploitation of this kind of rocks is cost-effective. The mineral processing ability of laterites is facilitated by the differences established in the grindability and magnetic properties of the constituting minerals.

Chromium containing laterites from the Philippines were investigated, with the aim to check the opportunity of application of magnetic methods in production of chromite concentrate. Preliminary studies of magnetic properties of the minerals contained in the ore were the reasoning of the present studies.

METHODS AND EQUIPMENT

Concomitant minerals, such as magnetite, silicate minerals, etc., have been found in the larger fractions of the ground material, which do not contain limonite aggregates. It has been established that their magnetic properties differ from those of chromite and they could be processed by magnetic separation.

Different vein minerals, accreted with the chromite grains are uncovered by selective grinding. Those which could not be separated, are, in most cases, strongly magnetized. In order to achieve high degree of mineral processing of the chromite concentrate, the accreted grains containing low percentage of chromite, should be separated by magnetic methods.

Franz-isodynamic separator was used for that purpose. To estimate the feasibility of the separation results in semi-industrial scale a “Jones separator” and a “cross band separator” were used.

The samples were dried at a temperature of 50°C. The parameters of the classifier were established preliminary.

The initial separation of the material was made in 20 mT magnetic induction. Further experiments were made in higher intensity of the magnetic field. The magnetic induction has been increased on discrete levels, starting from 20 mT to the uppermost level of 120 mT (fig 1).

MINERAL PROCESSING OF CHROMITE IN FRANZ-ISODYNAMIC CLASSIFIER

Preliminary experiments for magnetite separation

The fraction 100 μm was used for these experiments. The content and extraction of Cr₂O₃ and FeO in the magnetic material depend on induction. In 20 mT magnetic induction, the ferromagnetic, i.e. strongly magnetized minerals, are being separated. The content of FeO was 8.6%, in extraction rate 0.1%. The chromite content was represented mainly by incorporation of chromite ions in magnetite lattice and small proportion of accreted chromite.

In 40 mT magnetic induction (fig. 2), FeO content decreased to 68.3%, while the extraction was 4.9%. Contrary to this, Cr₂O₃ content increased to 20.3% and its extraction to 0.9 %. The grains were with magnetite or martitized magnetite. Mainly, strongly magnetized minerals accreted to chromite are being involved here. It was found in the material accreted together magnetite and martitized magnetite.

A decrease of FeO content, respectively an increase of Cr₂O₃ content, was observed in induction values between 60 and 80 mT. Yet, not accreted ferrimagnetic materials were not observed. It can be inferred from the metallic content of the products, that iron-rich accreted grains should be separated as a rock material. Thereby small chromite loss could not be avoided.

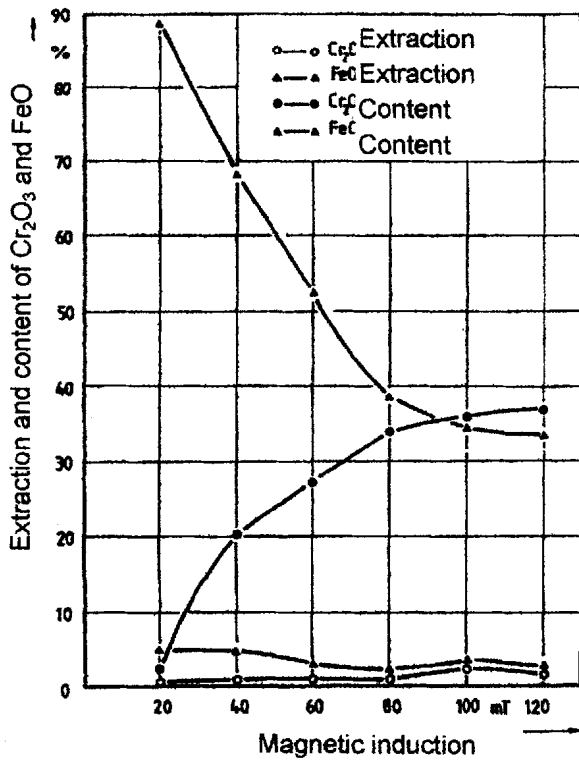


Figure 1. Extraction and content of Cr₂O₃ and FeO in the magnetic product of Franz-isodynamic separator in terms of magnetic induction

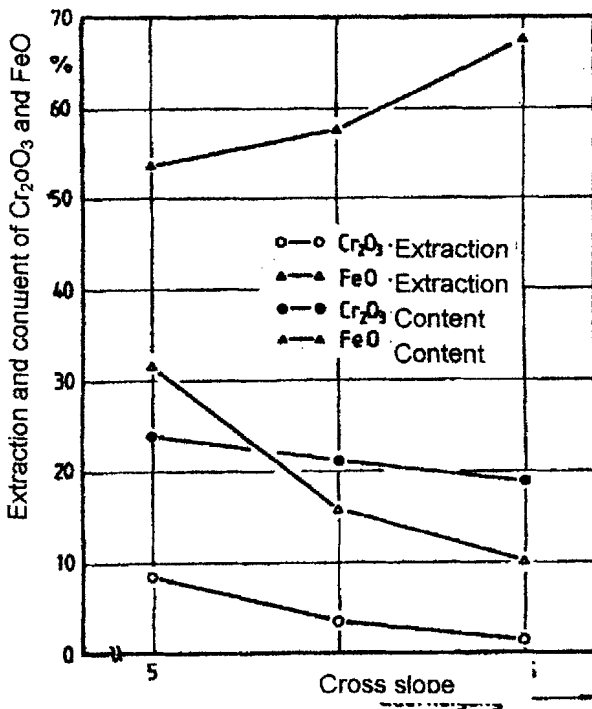


Figure 2. Extraction and content of Cr₂O₃ and FeO in the magnetic product in terms of the cross slope of the classifier at magnetic induction 40 mT

Cr₂O₃ content in the magnetic product increases significantly at more higher magnetic induction values. So, at 120 mT, Cr₂O₃ content was 38.3%, with extraction 1.7%, and Fe content in the raw material was 31.9%. Cr/Fe ratio was 1.06

CHROMITE SEPARATION BY DRY MAGNETIC METHOD

The fractions >100 μm and 100-163 μm were used in the experiments of mineral processing of chromite by the method of dry magnetic separation. Because the fraction 63-20 μm consists mainly of limonite aggregates, it could not be processed by magnetic separation methods.

The separation of the raw material was implemented in two stages. Three products were obtained:

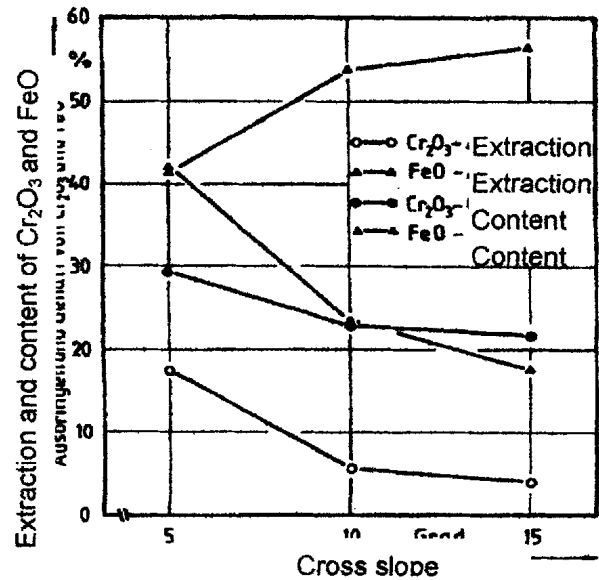


Figure 3. Extraction and content of Cr₂O₃ and FeO in the magnetic product in terms of the cross slope of the classifier at magnetic induction of 60 mT

iron rich product; chromite concentrate; and waste product. The magnetite and the grains strongly accreted with magnetite were separated at magnetic induction 480 mT. Table 1 shows the results of this separation.

The data from the separation of fraction >100μm are shown in Table 2. In increasing the time of grinding the amount of iron rich product decreases from 6,7 to 3,2%. In the same time the extraction of Cr₂O₃ decreases from 3,6 to 1,6%. The metallic contents show, that in these conditions part of the accreted with magnetite chromite grains have not been separated. So, for example, at milling time 20 min the content of Cr₂O₃ in metallic product was 18,2%, at extraction 1,6%. This amount of chromite should be separated from the iron concentrate. Thus the chromite concentrate was obtained, by separation of the iron rich product from the waste product.

The raw material, which was milled for 5 min exhibited high chromium extraction rate in the concentrate – 95,1%. The mineral processing of Cr₂O₃ got increased from 31,5% to 37,4%, but in general, stayed on a low level. The remaining limonite aggregates in the material were removed mainly together with the chromite. The content of FeO in the concentrate, therefore, was very high -29,4%.

Since for 10 min grinding, limonite aggregates were almost absent in the fraction >100μm, Cr₂O₃ content in the

concentrate greatly increased in comparison to the product ground for less time. Cr₂O₃ content in the concentrate was 42,9%, at extraction rate 96,2%.

In increasing the milling time, the result of the magnetic separation was further improved. In 15 min milling time Cr₂O₃ content in the concentrate was 44,5% at extraction rate 96,8%. In 24,1% FeO content, the ratio Cr/Fe was 1,62. The metallic contents show, that a part of this concentrate still contains chromite grains accreted to the iron minerals. An increase of the milling time to 20 min resulted in further

increase of chromium content. Based on this result, one can conclude that for these milling conditions, the raw material should not be milled for more than 15 min, since great part of the chromite will go in the finer fraction.

In 480 mT induction, a small part of the chromite did not get magnetized, thus went into the waste product, together with the rock minerals. The chemical composition of these chromite spinels determines their magnetic properties. The content of FeO in the grains varied between 13,3 and 16,5%, while MgO content was between 14,3 and 17%.

Table 1. Weight distribution and distribution of the metal for laterite chromite ore of the magnetic products in different magnetization ($\rho > 4.1$)

This shows that the ferromagnetic Fe^{2+} ions, have been replaced by paramagnetic Mg^{2+} ions. Since the magnetic permeability of these grains does not differ at all from iron containing silicate minerals, they could not be separated by magnetic method. The extraction of Cr_2O_3 in the waste product varied between 1.3 and 1.7%.

As it can be seen from Table 3 the separation of the iron rich product for the fraction 100-63 μm showed almost the same tendency as the fraction >100 μm . Since the magnetic separation of the products containing limonite aggregates was performed together with the chromite, Cr_2O_3 content in the concentrate did not reach high rates. In increasing the milling time, the content of Cr_2O_3 was increased from 31,1% to 38,2%. Due to the high content of FeO, Cr/Fe ratio varied between 0.86 and 1.29. This fraction should be processed by other sorting methods.

Influence of the cross slope of the classifier upon the separation.

The content of Cr_2O_3 in the magnetic concentrate of the fraction >100 μm could not reach the values of the same product extracted from the primary ore. Part of the laterite concentrate consists of chromite grains having low value of Cr/Fe ratio. Since these grains get magnetized easier than those which have not accreted to chromite, they should be separated in order to achieve better mineral processing of chromium concentrate.

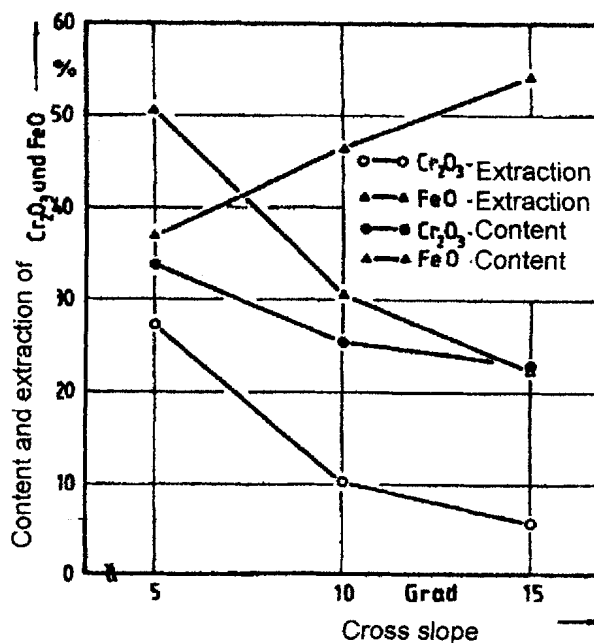


Figure 4. Extraction and content of Cr_2O_3 in the magnetic product in terms of cross slope of the classifier at magnetic induction 80 mT

According to the accretion the grains magnetize to a different degree, so they could be separated by increasing the magnetic induction, without formation of aggregates. Since the cost of magnetic separation in industrial scale is very high, this way for mineral processing of chromite is not used in practical cases.

Magnetic separation should be implemented in two stages. In the first stage should be separated the iron minerals, as well as the grains with low Cr/Fe ratio accreted to them. A high induction is necessary for that purpose. An increase in the magnetic field gradient leads to an increase of the magnetic force action between the grains. Magnetic aggregates are formed, in which could participate slightly magnetized grains.

Because of that, the classifier could chock with the aggregates formed. If the cross slope of the classifier decreases, the gravitational force F_g , acting upon the grains decreases too. This means a relative increasing of the magnetic force F_m . In this way, aggregate formation could be

diminished, from one side, and the separation of the material is improved, from the other side.

Table2. Results from the magnetic separation of the fraction >100 μm

The separation behavior of the raw material should be kept in terms of magnetic induction and cross slope. The cross slope of the classifier was changed to 5, 10 and 15 degrees. The fraction sized >100 μm and milled for 15 minutes was sent to a magnetic classifier.

The first experiments were performed at magnetic induction 40 mT. Fig. 2 shows the extraction and the content of Cr_2O_3 and FeO of the magnetic product. At cross slope of 5° , it was achieved high level of separation of FeO containing material. The content of FeO in the product obtained, amounted a 53.7% at extraction rate 31.3%; Cr_2O_3 content was 23.9% at extraction rate 8.3%. This separation result shows that, at relatively high degree of mineral processing of the chromium concentrate, an inevitable, high loss of chromium is observed.

Table 3. Results from the magnetic separation of the fraction 100- 63 μm .

Chromium extraction diminished sharply at cross slope of 10° ; and FeO extraction rate was 15,8%.

In the next experiments the material was separated at 60 mT magnetic induction. Fig 3 shows that the weak induction increase leads to significant increase of the magnetic force which acts upon mineral grains. In cross slope of 5° FeO content was 41.7% in extraction rate 41.9%; Cr_2O_3 content was 29.4% at extraction rate 17.6%.

This result implies that, in increasing the magnetic induction, the cross slope of the classifier has more and more tangible effect upon the separation results. At cross section of 10° and 15° , the extraction rate of Feo was lower, and FeO content was high: 53.8 and 56.5% respectively.

The final experiments were conducted at 80 mT magnetic induction. Fig 4 shows the results from the separation of the magnetic product. Magnetic aggregate formation occurred in this field intensity. This process increased chromium extraction in the magnetic product. Cr_2O_3 content was 33.9% at cross slope of 5° , while the extraction was 27,4%. At 10° cross slope, the extraction of Cr_2O_3 was 10.2%, while the extraction of FeO was 30.6%. These results were not so good, in comparison to the other results, e.g. those at 40 mT induction and 5° cross slope.

For two stage processing of the chromite concentrate, a nonmagnetic material was transferred to the Franz – isodynamic classificatory. In this case the magnetic induction was 480 mT, and cross slope was 15° . The results from this concentrate separation are shown on table 4. By separation of the silicate rock minerals, the material, whose iron rich grains were separated at 40 mT magnetic induction, was processed with a small Cr loss. Concentrate Cr_2O_3 content varied between 44.5 and 47.1%, and the extraction rate between 96,8 and 90,2%.

Chromium loss was diminished by increasing the cross slope. The decrease of FeO extraction was greater than that at 40 mT induction.

Due to magnetic aggregates formation however, magnetic induction should be limited up to 80 mT.

Table 4. Results from the magnetic separation for the fraction $>100 \mu m$, in different magnetic induction and different cross slope of the classifier

The separation of the iron rich grains at 60 mT induction was accompanied with high Cr content in the concentrate. It reached 48.6% at cross slope of 5° , at 80.9% extraction rate. In 20% FeO the Cr/Fe ratio of the concentrate was 2,15. This shows that the accreted to iron minerals chromite grains were separated almost completely.

The material from which the iron rich particles were separated at 80 mT magnetic induction and 5° cross slope, showed almost the same Cr_2O_3 content in the concentrate as it was at 60 mT. And, chromium extraction decreased significantly and reached 71.2% value. At these separation parameters, the Cr rich grains were separated as magnetic material.

The separation results show that the two stage magnetic separation leads to high Cr_2O_3 in the concentrate. Furthermore, aggregate formation can be diminished. The least possible magnetic induction should be used for separation of the iron rich particles.

It can be seen from the curves, that the separation of the iron rich grains was best implemented in the range of 1.10 – 0.20 T. The extraction of FeO increased from 15.5 to 34.6%, and the Cr_2O_3 extraction also increased from 3,8 to 14.4 %. Weakly magnetized iron containing silicates, such as enstatite and iron rich quartz, were found in the magnetic material, which was separated at 0.20T induction. In the separation zone, these light rock materials were kept in agglomerates consisting of strongly magnetized iron minerals. Due to this circumstance, the content of FeO decreased. At 0.25 induction rate, the extraction of Cr_2O_3 in the magnetic material increased strongly in comparison to the extraction of FeO. And, it was observed that, at this induction rate, the chromium rich grains separate like a magnetic material.

In comparison to the results obtained by Franz isodynamic classifier, a conclusion can be drawn, that, at 0.20T induction rate, the separated nonmagnetic material is suitable for further mineral processing of the chromite. The result obtained at this induction rate is shown on the table below:

MINERAL PROCESSING OF CHROMITE BY FLAT JONES TYPE CLASSIFIER

The results from the Franz isodynamic classifier should be considered, thinking about practical application of magnetic separation in mineral processing of chromite from laterite ore. Dry Jones type classifier with strong field produced by Humboldt-Wedag company is widely used for separation of mineral raw materials. The above mentioned particle sizes of the material determine the width of the channel between the profiles of the plot. (Wenz, Aufbereitungs-Technik, S. 142/149 (1973) –f). The content of a solid substance in the pulp is 40 %. Magnetic induction varying between 0.10 and 0.25 T was applied in order to separate the iron rich mineral particles. The rotation speed of the rotor was 3.4 m/min. The magnetic material was moved upon the plot's surface by washing with water at 4 bar pressure. A sample of about 10 kg weight was used for each experiment. Fig. 5 shows the content and extraction rate of Cr_2O_3 and FeO. In this induction range, the material was separated without chocking of the channels.

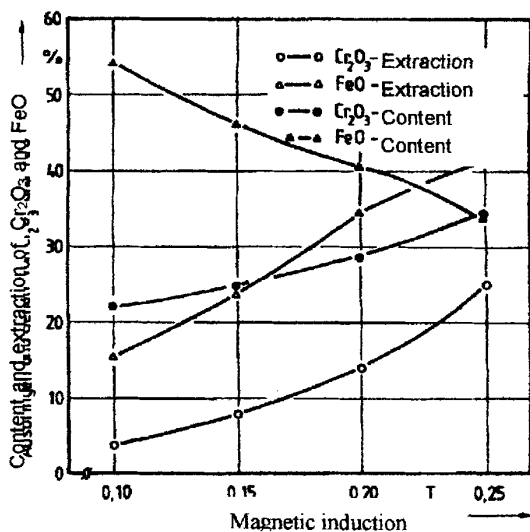


Figure 5. Extraction and content of Cr_2O_3 and FeO in the magnetic product, in terms of magnetic induction for the case of flat classifier.

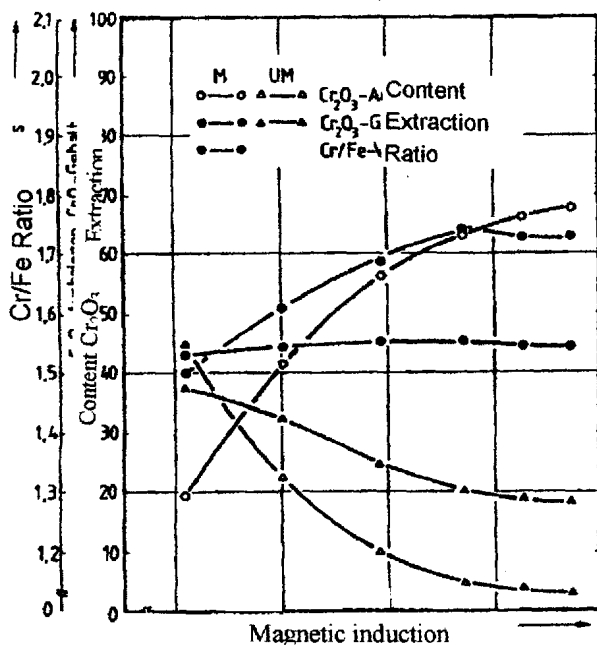


Figure 6. Extraction and content of Cr_2O_3 in the magnet magnetic product (M) and the nonmagnetic product (NM), and Cr/Fe ratio, in terms of magnetic induction for flat Jones type classifier

For the mineral processing of the chromite concentrate the magnetic induction values varied between 0.62 and 1.35T. Three products were obtained: magnetic product (concentrate); medium magnetic product (intermediate product); nonmagnetic product (waste product). Fig 6 shows the extraction rates and the contents of Cr_2O_3 of the magnetic and nonmagnetic product, as well as the Cr/Fe ratio. At 0.62T induction rate, only a small amount of the chromite in the concentrate was extracted. The content of Cr_2O_3 in the concentrate was 43.3% at extraction rate of 19.7%, and the process ran with a significantly higher induction, compared to that of the Franz isodynamic classifier. This shows that in the process of separation implemented with a flat Jones type classifier, with the same magnetic induction, the ratio between the gravitational and magnetic force is greater than the same ratio in Franz isodynamic classifier, so the iron poor chromite grains are extracted as nonmagnetic or medium magnetic raw material. And, the content of Cr_2O_3 in the nonmagnetic sample was 37.8% at induction rate of 44.4%. In magnetic induction 0.80T, the extraction of chromium in the concentrate increased sharply and reached a value of 41.7%. The Cr_2O_3 content in the sample, further, had a lower value of 44.5%. Still a considerable part of the chromite stayed in the waste product.

It was necessary to increase the magnetic induction rate, in order to magnetize the iron poor chromite, which has remained in medium product and in the waste product. The highest content of Cr_2O_3 in the concentrate was achieved at 1.14T induction; it reached 45.6% at extraction rate 63.4%. The Cr/Fe ratio was 1.74. A small part of the concentrate consisted of iron containing silicate rock materials, so despite the significant increase of the extraction rate, the chromite content did not reach high values. In further increase of the magnetic induction, it was increased both the Cr_2O_3 extraction and the incorporation of silicate rock materials in the concentrate. So, for example, at 1.35T induction, Cr_2O_3 content in the

concentrate was 44.6%, and the extraction was increased to 68%.

In nonmagnetic sample the extraction of Cr_2O_3 showed very small value of 3.5%. This shows that in a flat Jones type classifier, for the iron-containing silicate minerals is true almost the same relation between the forces, as in the case of iron poor chromite grains, despite that the first ones have lower magnetic permeability than that of the chromite. It is due to density differences. The poor separation result could be improved by classification of the materials. For the laterite chromite as-applied method is not economically viable.

In increasing the induction, the extraction rate of FeO was increased from 25.3 to 49.7%, while the extraction rate of Cr_2O_3 was increased from 6.6 to 30.3%.

Induction rate of 0.2T targeted the achievement of very good result, which could be obtained in Franz-isodynamic classifier at 60mT induction and cross slope of 5°.

The separation result is shown on the table below.

The separation of the rock minerals from the nonmagnetic product in the first stage of magnetic separation was performed at magnetic induction varying between 0.50 and 0.70 T. Fig 7 shows Cr_2O_3 content and the extraction of the concentrate and the waste product, as well as Cr/Fe ratio of the magnetic product in terms of the magnetic induction.

The low content of Cr_2O_3 in the concentrate –44.6% which came at 0.5T induction showed that one part of the chromium rich particles has not been magnetized and has gone to the waste product as nonmagnetic material. Thereby, the extraction of Cr_2O_3 reached the same low value – 58.2%.

Извличане

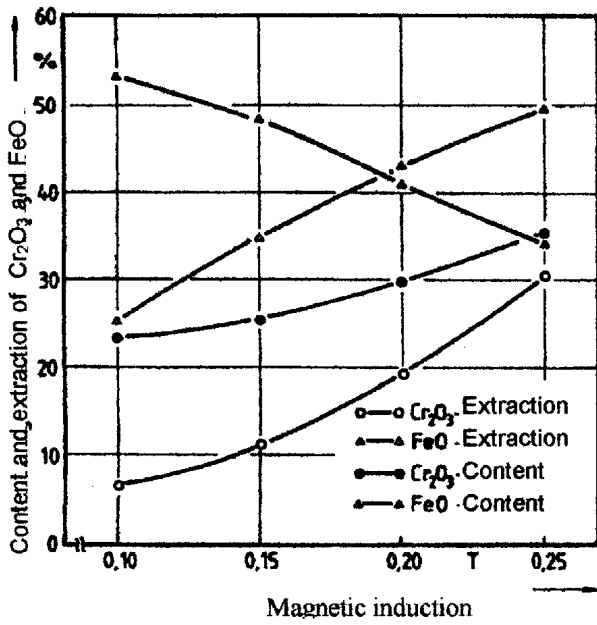


Figure 7. Extraction and content of Cr_2O_3 and FeO of magnetic product in terms of magnetic induction for cross band classifier.

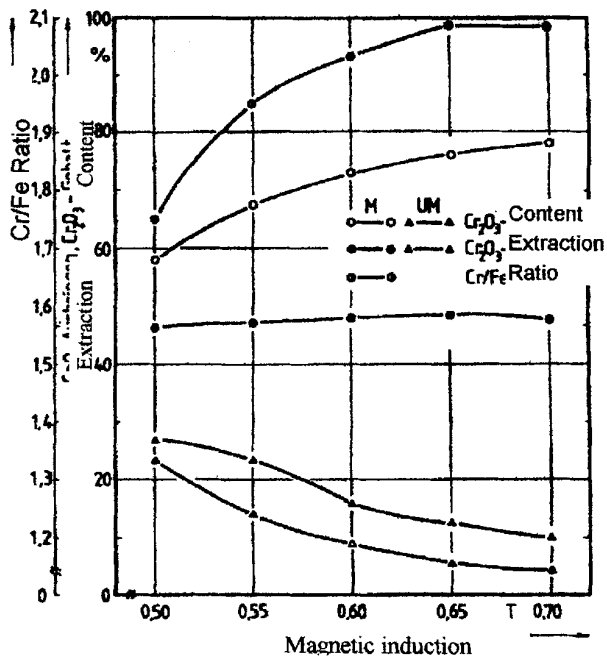


Figure 8. Content and extraction of Cr_2O_3 in magnetic product (M) and nonmagnetic product (NM), Cr/Fe ratio of M in terms of induction for cross band separator. NM was separated at 0.2T magnetic induction

Cr and Fe was achieved for each of the induction values. This difference in the extraction shows that in the case of cross band classifier the magnetic force is greater than that in flat Jones type classifier. Therefore, in this case was achieved better separation of the iron rich grains. In increasing the induction, the chromium content in the magnetic concentrate was achieved. At 0.60T induction Cr₂O₃ induction was 47.9% at extraction rate 72.8% and Cr/Fe ratio 2.03. At 0.65T induction it was achieved the most higher Cr content in the concentrate – 48.2% at extraction rate 76.3%. At FeO content of 20.3%, Cr/Fe ratio in the concentrate was 2.08. And there was a loss of Cr₂O₃ in amount of 5.1%. This loss can be diminished by induction increase. At 0.70T induction the extraction of Cr₂O₃ was 3.8%. Despite that iron-containing silicate minerals were magnetized and have been extracted as magnetic product, Cr₂O₃ content in the concentrate decreased. The values were 47.8% at extraction rate 77.6%. And, the content of FeO decreased too, so the ratio stayed 2.08.

MINERAL PROCESSING OF CHROMITE BY CROSS BAND CLASSIFIER

Further, an attempt was made to check if the results obtained by means of Franz-isodynamic classifier could be transferred in an industrial scale in case of dry magnetic separation. Cross band classifier was used for these experiments. The classifier operated according to the following specifications:

Magnetic induction:	0.10-0.25 and 0.50-0.70 T
Velocity of the main band:	0.36m/sec
Velocity of the cross band:	0.50m/sec
Sample amount:	10 kg

Fig 8 shows the content and the extraction rate of the magnetic product. In comparison to the results obtained by flat Jones type classifier, much more extraction rate of

Recommended for publication by Department of Mineral Processing, Faculty of Mining Technology

CONCLUSION

The investigations performed in this studies have shown that the difference in the magnetic properties of the minerals which are constituents of chromium containing laterites can be used for production of chromite concentrate.

The investigations, performed in a laboratory and semi-industrial scale have verified this.

REFERENCES

- Savvidis, S., Cargiotis, E. 1997. Die Serpentin – Gruppe Minerale im Vourinos Ophiolith-Komplex, Nord Griechenland. Oberhessische Naturwissenschaftliche Zeitschrift ISSN 0340-4498, Band 59, S. 91-101.