

# Study on the Utilization of Indonesian Laterite Ore for Ironmaking(ラテライト鉱石の製 鉄への利用技術に関する研究)

著者	Hadi Purwanto
号	3012
発行年	2002
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10097/8284">http://hdl.handle.net/10097/8284</a>

氏名	ハディ プルワント Hadi Purwanto
授与学位	博士 (工学)
学位授与年月日	平成 15 年 3 月 24 日
学位授与の根拠法規	学位規則第 4 条第 1 項
研究科, 専攻の名称	東北大学大学院工学研究科 (博士課程) 金属工学専攻
学位論文題目	Study on the Utilization of Indonesian Laterite Ore for Ironmaking (ラテライト鉱石の製鉄への利用技術に関する研究)
指導教官	東北大学教授 八木 順一郎
論文審査委員	主査 東北大学教授 八木 順一郎 東北大学教授 井口 泰孝 東北大学教授 日野 光兀

## 論文内容要旨

Laterite ore is one of the mineral resources contains several kinds of metal elements, such as nickel, cobalt, iron, silicon, aluminum and chromium. It is widely distributed in the equatorial region such as Indonesia and is mainly used as a nickel resource. However, the utilization is limited to only the laterite containing Ni more than 2 mass%. While the Ni-less laterite ore has never been used effectively in spite of the huge deposit, it sometimes has high content of iron about 50 mass%. As Indonesia has no deposit of high grade iron ore, the high-grade Fe laterite is quite attractive as a domestic iron resource. When the high-grade Fe laterite is used in iron and steel industries, the complicated chemical structure brings about some difficulties. A series of process to utilize the Indonesian high-grade Fe laterite ore as an iron resource is proposed. This thesis contains seven chapters as described below:

**Chapter 1.** In this chapter, the background, proposed process and the purpose of this study were stated. **Figure. 1** shows the flow diagram of laterite processing proposed in this work. The purpose of the process is to separate the impurities from laterite ore by a combination process of selective reduction, leaching and magnetic separation. The selective reduction of the laterite ore by CO/CO<sub>2</sub> (30/70 vol.%) mixed gas produced in metallic nickel and cobalt, together with hematite changes to magnetite. The nickel will be extracted by leaching from selective reduced laterite without insoluble iron, based on the difference affinity between metallic nickel and other metal oxides to acid. There will be a residue containing iron in the form of magnetite and other metal oxides. The residual solid after the extraction of nickel can be further treated by magnetic separation to recover the iron. Finally, the products of this process will be a high iron content of

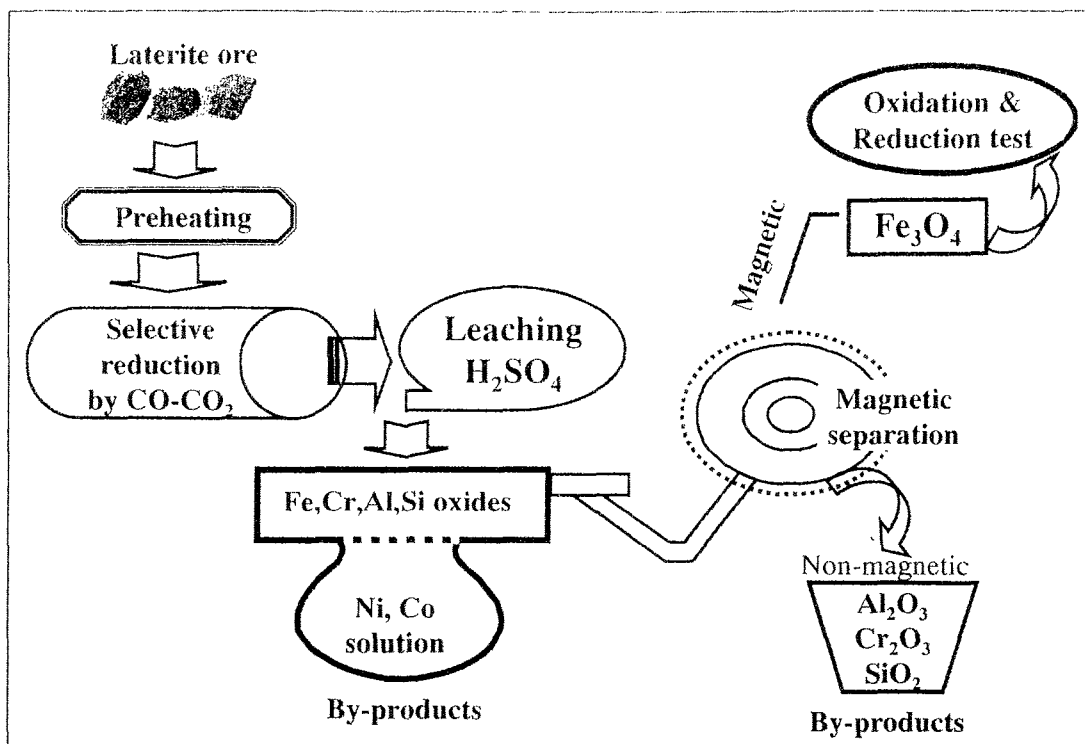


Fig. 1 Flow diagram of laterite processing

magnetic concentrate that can be further process as raw material for ironmaking.

**Chapter 2.** This chapter describes the physical and chemical characteristics of laterite ore including effect of dehydration on its properties. X-ray diffractometry and DTA revealed that the iron mainly formed iron oxide hydrate (goethite), and it decomposed at the range of 530-673 K resulted in crack generation. The experimental results showed that preheating treatment promoted in increasing the crushing strength of briquette and decreasing of energy consumption for the grinding of laterite ore.

**Chapter 3.** This chapter describes the selective reduction test of laterite ore. Reduction of laterite using CO-CO<sub>2</sub> (30/70 mol/mol) resulted in reducing of iron from hematite to magnetite where nickel and cobalt completely reduced to metallic. According to one interface unreacted core model for cylindrical briquette the reduction rate of laterite was mixed control of chemical reaction and intraparticle diffusion through the reacted laterite layer. The apparent activation energy was obtained and given as follow:

$$\ln k_c = 14.38 - (50.96 \times 10^3 / RT)$$

$$\ln De = 1.54 \times 10^{-3} - (32.92 \times 10^3 / RT)$$

**Chapter 4.** This chapter describes leaching process to separate nickel from the selectively reduced laterite ore. The results indicate that the influence of selective reduction can speed up the nickel extraction and obstruct the iron dissolution.

The extraction rate of nickel is very high in the early reaction. It slows down after that. The optimal indication of the test can be obtained at the leaching temperature of 343 K, 0.05 mol/l  $\text{H}_2\text{SO}_4$  and 4 g/l sample. The leaching rate of nickel was chemically controlled by the cathodic reaction of the solid surface. For the rate controlling process, the obtained activation energy was about 42.2 kJ/mol.

**Chapter 5.** This chapter describes the magnetization of laterite ore and magnetic separation process using Davis Tube Tester to recover the magnetite in the ore. The results show that the ore has similar magnetic property with goethite. Heated of the ore at 673 K does not improve significantly on its properties whether goethite changes to magnetite. However, reduction treatment increases the magnetic properties of the ore due to the formation of magnetite. The magnetic susceptibilities of the original, heated and reduction treated laterite ores are 2.36,  $2.18 \times 10^{-5}$  and  $23.57 \times 10^{-3}$  emu/g, respectively. Magnetic separation was applied only to recover iron from the laterite ore after treated by selective reduction in which produced magnetite. Magnetic separation was upgraded the concentrate up to 93.9 % with recovery of 90 %. The correlation between magnetite content and magnetization of the magnetic concentrate shows in a linear equation, which can be used for prediction of magnetite content in the sample based on its magnetization.

**Chapter 6.** This chapter describes the reduction test of oxidized laterite concentrate. Reducibility test of laterite pellet produced from magnetic separation using CO gas was obtained about 53 %, where 68 % for Carajas hematite pellet. Kinetics reduction of pellets were examined according to one interface unreacted core model for the reduction using  $\text{H}_2$  gas. The reduction of laterite and Carajas hematite pellets proceed topo-chemically according to the unreacted core model. And the process was mixed control plots of chemical reaction and intra-particle diffusion. However, the rate of laterite pellet was slow at the upper degree of reduction due to high diffusion resistant.

In chapter 7, the main results of the present work were summarized.

# 論文審査結果の要旨

ラテライト鉱石はインドネシアなどの熱帯地域に分布しており、ニッケル、コバルト、鉄、アルミニウム、クロミウムなど多くの有価金属を含有している。現在、この鉱石は主としてニッケル資源として利用されている。しかし、鉄が 50%以上含まれているにもかかわらず、ニッケルが 2%以下の低品位ラテライト鉱石は資源としては利用されておらず、逆に選鉱後に廃棄された鉱石は環境汚染の原因ともなっている。

インドネシアでは直接製鉄・電気炉法により鉄鋼生産を行っているが、良質な鉄鉱石資源が産出しないので、ラテライト鉱石の製鉄への利用は重要な課題になっている。本研究はインドネシア産ラテライト鉱石の予備処理、有価金属の浸出分離、磁力選鉱による鉄の高品位化等の基礎的研究を行い、製鉄原料としての可能性を検討したもので全編 7 章から成っている。

第 1 章では、本研究の背景、従来の研究および目的を述べている。

第 2 章では、インドネシア産ラテライト鉱石の化学的、物理的性質に関する測定結果を示している。特に、この鉱石は含有する結晶水のため加熱により内部で亀裂が発生し成長する。この性質を利用し、673 K までの予備加熱により粉碎エネルギーを 35%も低減できることを見出している。

第 3 章では、ニッケルおよびコバルトの回収における選択還元速度を測定している。すなわち、900 K、 $\text{CO}/\text{CO}_2=30/70(\text{vol}\%)$ の条件で還元すると鉱石中のニッケルやコバルトの酸化物は金属ニッケルや金属コバルトまで還元されるが、ヘマタイトはマグネタイトまで還元されるので、磁力選鉱が可能になる。この条件下でのヘマタイトからマグネタイトまでの還元速度を測定し、一界面未反応核モデルに基づき混合律速解析した結果を示している。

第 4 章では、第 3 章で選択還元により生成した金属ニッケルをマグネタイトから分離するため低濃度硫酸で速やかに浸出できることを示すと同時に、最適浸出条件を求めている。また、ニッケルの浸出速度は化学反応律速で表せることを示している。

第 5 章では、第 4 章の硫酸浸出で得られた浸出残渣中のマグネタイトをデービス管磁力選鉱機によって回収した結果、93.9%の高品位で、90%の高回収率が得られたことを示している。また、振動型磁力計による基礎実験により、鉱石中のマグネタイト濃度と磁化との関係は直線関係にあり、簡便な磁化測定により鉱石中のマグネタイト含有量を推定できることを示している。

第 6 章では、第 5 章で得られたマグネタイトを主成分とするラテライト鉱石ペレットの被還元性を測定し、通常製鉄原料として使用されているカラジャス鉱石の性状と比較してラテライト鉱石が製鉄原料として十分な被還元性を有することを示している。

第 7 章は結論であり、研究全体の総括を行っている。

以上要するに本論文は、インドネシア産ラテライト鉱石の予備処理、有価物の分離回収および還元性の評価を行い、製鉄原料として利用するための技術を検討し、利用可能な方法を提示したもので、金属工学の発展に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は博士(工学)の学位論文として合格と認める。