



机械活化在矿物浸出过程中的应用研究

何奥希¹, 陈晋², 李毅恒¹, 冯康露¹,
黄秀兰¹, 彭金辉^{1,2}, 陈菓^{1,2}, 阮榕生¹

- (1. 云南省高校民族地区资源清洁转化重点实验室, 云南省跨境民族地区生物质资源清洁
利用国际联合研究中心, 云南民族大学化学与环境学院, 昆明 650500;
2. 云南省特种冶金重点实验室, 昆明理工大学, 昆明 650500)

摘要: 浸出是湿法冶金中提取有价金属元素的一项重要单元操作, 但由于某些矿物结构复杂、杂质反应活性差, 使得这些矿物的浸出率较低, 影响工业生产。机械活化作为一种新兴的强化浸出手段受到了广泛的关注。机械活化是指固体物料在机械力的作用下, 受到撞击、挤压、碰撞等作用而产生破碎、变形以及各种晶体缺陷, 导致物料内能增大, 反应活性提高的过程。研究表明, 在机械活化的作用下, 固体物料受到强烈的机械力作用致使矿物理粒径变小, 比表面积增大、非晶化程度增加, 热稳定性降低; 在浸出反应中, 可提高矿物的反应活性, 改变浸出反应控制因素, 有效的回收其中的有价元素。本文将近年来机械活化在矿物浸出方面的应用研究现状进行分析和总结。

关键词: 机械活化; 浸出; 难浸矿物; 溶解动力学

doi:10.3969/j.issn.1000-6532.2018.04.001

中图分类号: TD989 文献标志码: A 文章编号: 1000-6532 (2018) 04-0001-06

在湿法冶金中, 浸出工艺是选择性的溶解矿物中的目标组分, 实现与不溶组分分离, 浸出液再应用于后续处理, 提取有价元素, 制成产品。随着科学技术的发展, 研究者们不断发现机械活化、超声波强化、微波辅助浸出等新的强化浸出措施^[1-3]。其中机械活化由于其操纵简单等优点, 作为一种新兴的强化浸出手段受到国内外学者的关注。研究表明, 机械活化在影响矿物的粒度、比较面积, 热稳定性等性质发生变化的同时, 矿物的浸出性能以及浸出动力学等多个方面也会发生变化。在机械活化的作用下, 一些成分复杂、相态稳定的难浸矿物的破坏难度降低, 浸出率增加, 表观活化能增加, 并在一定程度上改变浸出反应的控制机理。此外, 机械活化还能使浸出反应在较为宽松的环境下进行, 避免了高温、高压所带来的能耗以及安全问

题, 同时操作便捷, 成本低, 是一种能广泛推广的新型强化浸出技术。

1. 机械活化原理及活化方式

机械活化是指固体物质在机械力的作用下经过撞击、挤压、碰撞而发生破碎、塑性变形和各种缺陷, 导致固体物质内能增大、反应活性提高的过程。目前, 应用于机械研磨矿物的设备主要包括: 振动磨、搅拌磨、行星磨、滚筒磨等^[4]。WJM-80 新型卧式超细搅拌磨机主要由筒体、搅拌器、传动装置、动力装置和机架等组成。其原理是旋转的搅拌机轮带动研磨筒内研磨介质做不规则的运动, 研磨介质受到冲击、剪切、摩擦等机械力作用, 被粉碎、混合与分散。

机械活化处理固体物料的方法一般有两种^[5],

收稿日期: 2017-01-24

基金项目: 国家自然科学基金 (51404114; 51504110) 资助。

作者简介: 何奥希 (1993-), 女, 硕士研究生在读。

第一种是原料先在特定的研磨设备中进行一定的机械活化处理,然后再进行化学反应。这种方法操作简单,设备耗损小,但是在活化过程中容易发生颗粒团聚等现象,并且一些矿物颗粒在机械活化过程存储的能量会随着时间的和储存环境的改变而减小,影响后续试验的反应效果。因此,若采用这种方法进行活化处理,应注意活化后的物料的置放环境以及活化处理与后续试验的间隔时间,避免物料的失活问题。第二种方法是一边活化处理一边反应,这种方法可以避免物料的团聚以及失活问题,并且边活化边反应使得反应体系处于更为激活的状态,使反应更加彻底的进行。但是这种方法对设备的要求很高,并且需要考虑设备的腐蚀和磨损以及反应的加热恒温等问题。目前,在湿法冶金中,先活化固体物料再进行反应的方式比较普遍。

2. 机械活化对矿物性质的影响

研究发现,机械活化通过高能球磨的方式,利用机械作用对固体颗粒造成物理化学性质以及晶体结构的改变^[6]。机械活化被广泛的应用于固体颗粒加工技术^[7-9]。在提取冶金中,氧化物、硫化物、高温难熔矿物经由高能球磨活化后,出现了新的反应表面、相变和矿物晶体结构变形,极大的提高了固体颗粒的反应活性^[10-11]。

2.1 粒度变化

经过机械活化处理,固体物料最开始发生的变化是颗粒细化,比表面积增大。当某些矿物细化到及其微小时,由于范德华力的增大引发质点局部的塑性变形和相互渗透^[12],出现团聚效应,比表面积也会逐渐增大,最终达到一个平衡态。

田磊^[13]等为探究机械活化对闪锌矿物化性质的影响,将其用行星式球磨机分别机械活化 30、120 min,并对活化产物进行了扫描电镜分析闪锌矿的原矿粒径在 20~50 μm ,机械活化 30 min 后破碎为 2 μm 左右的小颗粒,活化 120 min 后颗粒形貌呈现无规则化,将团聚物进一步放大可以看出,颗粒的团聚现象十分明显,形成了许多细小且无

规则的颗粒。

伍凌等^[14]在对钛铁矿进行球磨时发现,钛铁矿比表面积经机械活化 120 min 由原来的 0.29 m^2/g ,增大至 8.79 m^2/g ,当研磨时间延长到 180 min 时,比表面积增加到 9.72 m^2/g ,细粒发生了团聚,中值粒径增大。

2.2 晶体结构的变化

在机械研磨的过程中,物料的晶体表面会因为机械力的作用形成缺陷,导致晶体表面电子被激发产生等离子以及表面键断裂,引起表面能量发生改变、表面结构趋于无定形化。随着机械活化的进行,固体物料的晶体结构以及性质也会因为机械力的作用而发生改变^[13]。如位错、变形、重结晶、缺陷,或者生成非晶态物质。

Yuan 等^[15]对异极矿分别进行干磨和湿磨,利用 X 射线衍射仪对处理后的产物进行表征发现,干磨和湿磨均使矿样衍射峰变宽,强度下降,晶格畸变率 ϵ 增大,晶粒尺寸 D 降低,并随着研磨时间的延长而增加。即经过机械活化后,晶体的有序结构被破坏,其中湿磨对晶格畸变率以及晶粒的尺寸的影响更加明显。

M. HASHEMZADEHFINI 等^[16]将硫化精矿球磨 30 min 后发现,矿粒比表面积增大,结晶度下降,XRD 衍射峰谱线变宽粒尺寸、晶格畸变率的影响更加明显。

2.3 热稳定性和矿物表面成分变化

机械活化在改变矿物颗粒、比表面积和晶体结构的同时,固体物料的其他一些性质也会随之发生改变,如热稳定性和矿物表面化学成分等^[17]。

张有新等^[18]通过研究磁黄铁矿的浸出过程发现,经过机械活化处理后,浸出反应的表现活化能减小,即在机械活化的作用下,磁黄铁矿浸出反应活性提高。

阳富强等^[19]利用综合热分析技术表征不同活化时间硫精矿的升温过程。随着机械活化时间的增加,硫化矿的热重曲线下移,初始放热点所对应的温度值下降,经过球磨之后,在 600 $^{\circ}\text{C}$ ~700 $^{\circ}\text{C}$

之间,出现了一个新的吸热峰。试验表明,硫精矿热稳定性降低,反应活性提高。

经研究发现,某些矿物在机械活化过程中会发生一些化学反应,如合成反应、分解反应、氧化还原反应等。陈菓等^[20]利用XRD表征了机械活化前后的高钛渣,发现当机械活化12 h后,XRD谱图中出现了 Ti_2O_3 晶面(116)、(110)以及(012)衍射峰;通过拉曼光谱研究发现,在机械活化12 h后,在 197.4cm^{-1} 处出现了 Ti_2O_3 的特征波峰,说明机械活化后,高钛渣中的钛铁矿 $\text{Fe}_3\text{Ti}_3\text{O}_{10}$ 成分部分转化成了 Ti_2O_3 。

对于硫化物纳米粒子颗粒形态和粒径分布的控制,传统的方法主要是溶剂热合成,高压技术等。Chin等^[21]以黄铁矿、硫粉、铁粉为原料,以NaCl作为分散介质对其进行高能机械球磨处理,制备出了粒径为10 nm的FeS和 FeS_2 纳米粒子。研究表明,矿物经机械活化后,颗粒最先开始细化,随着机械活化的持续作用,出现团聚现象,粒径变小,比表面积增大;在结构上晶面形成缺陷,晶体无定形化、晶格畸变等现象出现;此外,机械活化还会导致矿物热稳定性降低,甚至一些化学反应会在矿物的活化过程中发生。

3 机械活化对矿物浸出性质的影响

由于机械活化可以改变矿物粒径,增大比表面积,同时破坏晶粒完整性,使晶粒产生晶格畸变等,这些变化都有利于浸出反应的进行,因此,机械活化可以在一定程度上改变浸出反应条件,使得许多需要在严苛环境下进行的反应能在较为温和的条件下进行,也能使在常规条件进行的浸出反应速度加快。

谭平等^[22]就攀西钛铁矿中钙、镁含量高,且在常规富集过程中不易分离等问题,采用了机械活化处理氧化-还原后的钛铁矿。结果表明,利用机械活化处理氧化-还原后的钛铁矿,得到的富钛料 TiO_2 品位为90.50%,酸浸渣中钙、镁以及铁的含量进一步降低,其中CaO与MgO总含量约

为1%,全铁含量为1.37%,满足沸腾氯化法生产二氧化钛的原料要求,而未经机械活化处理的盐酸浸出渣。 TiO_2 品位仅为88.31%,钙镁总含量为2.21%,全铁含量为1.79%。

Tang等^[23]采用机械活化法对高岭土矿进行处理,结果发现,高岭土矿机械活化4 h后用盐酸进行浸出,当浸出温度为 60°C 时,铝的浸出率在反应进行10 min后已经达到了63.6%,而未经活化的矿渣在 100°C 的条件下,浸出率在反应进行150 min后仅为36.6%,由此可见,机械活化可以大幅提高浸出速率,缩短反应时间。

Zhang等^[24]在对中性锌浸出渣进行镉的还原浸出时发现,如果将原料矿渣进行机械活化后再浸出,在反应条件完全相同的情况下,被活化的样品比原矿渣浸出效率更高,从XRD谱图中可以分析得出,前者所得到的产物衍射峰强度更大,通过扫描电镜可以观察到前者的产物晶粒尺寸更小、更均一,并且表面更加粗糙且结构不致密。

Khorramshahi等^[25]利用机械活化提高了黄铜矿中铜在稀硫酸中的浸出率。研究表明,铜浸出率提高的原因在于:①矿粒表面形成的晶格缺陷,②在机械活化过程中所产生的晶格畸变,③晶粒尺寸减小以及出现了无定晶型的黄铜矿,在这些因素的综合影响下,铜的浸出率显著提高。

刘娟等^[26]针对含钒石煤成分复杂多变,浸出工艺复杂等问题,提出一种机械活化强化提钒浸出的工艺设计。试验表明,机械活化使得矿物破坏难度降低,浸出反应速率加快。在15% H_2SO_4 ,固液比1.5:1.0, 95°C 恒温条件下,机械活化处理30 min后的石煤矿渣浸出率达81.82%,相比较于未活化的石煤,效果提高了将近10%。

Wei等^[27]为了优化攀西钛精矿相关浸出工艺,解决钛精矿中氧化钙、氧化镁等杂质难以溶解于盐酸中的问题,分别将斜长石、钛铁矿机械活化4 h,然后浸出。结果发现,在相同的浸出条件下,斜长石中钙的浸出率从40%上升到了50%,而钛铁矿中钙的浸出率上升的更加明显:由32%增加

到 73%。结果表明,在机械活化 4 h 后,钛铁矿的晶粒从初始的 626 nm 减小到 318 nm,晶格畸变也从 0.0158% 增加到 0.0235%。

李春等^[28]为了寻找一种新的方法以实现在低酸浓度环境下,钛铁矿高效率酸解,将钛铁矿以三种不同的研磨设备进行机械活化处理(分别为滚筒球磨机、行星球磨机、搅拌磨机)。结果表明,以不同的方式进行机械活化处理,钛铁矿的浸出率会出现明显差异:搅拌球磨处理的钛铁矿浸出率最高,滚筒球磨的效果最差,由此可见,机械活化的效果不仅与矿物类型有关,还与机械活化的方式有关。

4 机械活化对矿物浸出反应动力学的影响

矿石的浸出是一个多相反应过程,其反应速度由反应界面上浸出剂的浓度、相界面面积或浸出剂在相界面上的传质速度等因素决定。因此,浸出过程速率可由化学反应控制、扩散控制或化学反应与扩散控制混合控制^[29]。机械活化作为一种强化浸出的措施,在一定条件下可以改变某些浸出反应的控制机理。

张燕娟等^[30]通过研究机械活化处理后钢铁酸锌的溶解动力学发现,机械活化后,钢铁酸锌的酸浸过程为扩散和化学反应混合控制,而未经活化的酸浸反应则由化学反应控制。计算得到未活化、活化 30 min 和 60 min 的表观活化能 E_a 分别为 76.4、58.6 和 51.8 kJ/mol,表观活化能减小,说明钢铁酸锌的酸浸反应经机械活化后反应活性提高,对反应温度的依赖性降低。

针对含镉锌铁尖晶石不易在中性浸出阶段分解的问题,Zhang 等^[31]研究了中性锌浸出渣在机械活化后镉还原浸出动力学,实验结果表明镉的溶解速率由化学反应控制,机械活化后表观活化能和反应级数均下降。未处理的中性锌浸出渣表观活化能为 65.02 kJ/mol,活化处理 60 min、120 min 后,表观活化能分别降至 59.45 kJ/mol、53.46 kJ/mol,三组样品的反应级数分别为 0.74、0.55、0.48。说明

在机械活化的作用下,镉的浸出反应对反应温度和浸出剂浓度的依赖程度降低。

Sasikumar 等^[32]在研究机械活化对钛铁矿浸出的影响时,由于其中的 Fe 和 Ti 的浸出反应动力学并不完全符合化学反应控制或者扩散过程,首次提出最初的反应动力学用反应速率控制模型来表述,后期的扩散过程用缩合模型描述。由于闪锌矿在焙烧过程中,非常容易形成锌铁尖晶石这一稳定的相态,导致在酸浸过程中,锌的浸出率较低。黎铨海等^[33]为了改善这种问题,对锌焙砂中浸渣进行搅拌球磨后酸浸,并研究了该反应的浸出动力学。根据计算,当机械活化 60 min 后,反应速率加快,并且机械活化改变了浸出反应控制因素——由原来的化学反应控制变为化学反应和扩散混合控制。经过机械活化 30 min 和 60 min 后,浸出反应的表现活化能和反应级数均下降,由此可见,机械活化显著提高了中浸渣的反应活性。

Alex 等^[34]研究了经过机械活化的勃姆石在氢氧化钠溶液中的浸出反应,分别选择了缩合模型和二级动力学模型描述未机械活化和机械活化的勃姆石在碱液中的浸出动力学,并将机械活化时间分别设定为 15 min、30 min、60 min、120 min、240 min。试验结果表明,随着机械活化时间的延长,浸出反应的表现活化能下降,其能值分别为 66.6 kJ/mol、56.39 kJ/mol、54.82 kJ/mol、52.61 kJ/mol、46.84 kJ/mol 和 40.54 kJ/mol。在动力学上,由于机械活化的作用,浸出反应的表现活化能和反应级数降低,对浸出剂浓度和反应温度的依赖性降低,并在一定程度上改变浸出反应的控制因素。

5 结 论

目前,难浸矿物浸出处理所采用的方法主要是升高温度,增加浸出剂浓度以及加强搅拌强度等,其本质是改变物料的外部环境以达到提高浸出率的目的,而机械活化则是通过改变固体物料的物理化学特性等以增强矿物的浸出反应活性,提高浸出率。试验证明,矿物的物理化学性质以及晶体结构会因为机械活化的作用发生改变,进

而对矿物的浸出反应产生不同程度的影响, 改变浸出控制因素, 降低表观活化能, 增加浸出率, 在难浸矿物的处理上, 机械活化的作用越来越大。但就目前而言, 有关于机械活化的研究还处在初级阶段, 机械活化原理、机械活化能储备等问题还需要进一步深入探讨, 完善机械活化理论以期在实际生产中发挥作用。

参考文献:

- [1]. 姜艳, 孙丽达, 黄卉, 等. 机械活化对高炉炼铁烟尘中锌浸出的影响 [J]. 有色金属: 冶炼部分, 2014, (4): 7-9.
- [2]. 薛娟琴, 毛维博, 卢曦, 等. 超声波辅助硫化镍矿氧化浸出动力学 [J]. 中国有色金属学报, 2010, 20(5): 1013-1020.
- [3]. Vereš J, Lovás M, Jakabský Š, et al. Characterization of blast furnace sludge and removal of zinc by microwave assisted extraction[J]. Hydrometallurgy, 2012, 129: 67-73.
- [4]. 姚金环. 从钢铁酸锌中用机械活化方法强化浸出铜, 锌的机理研究 [D]. 广西大学, 2013.
- [5]. 赵国锋, 王新文, 胡章胜, 等. 新型卧式超细搅拌磨机的结构原理研究与中试应用 [J]. 矿山机械, 2011, 39(2): 82-85.
- [6]. Baláz P. Mechanical activation in hydrometallurgy[J]. International Journal of Mineral Processing, 2003, 72(1): 341-354.
- [7]. Hu H, Chen Q, Yin Z, et al. Mechanism of mechanical activation for sulfide ores[J]. Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 2007, 17(1): 205-213.
- [8]. Zhao Z, Long S, Chen A, et al. Mechanochemical leaching of refractory zinc silicate (hemimorphite) in alkaline solution[J]. Hydrometallurgy, 2009, 99(3): 255-258.
- [9]. Zhang Y, Zheng S L, Hao D U, et al. Effect of mechanical activation on alkali leaching of chromite ore[J]. Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 2010, 20(5): 888-891.
- [10]. Baláz P, Achimovičová M. Selective leaching of antimony and arsenic from mechanically activated tetrahedrite, jamesonite and enargite[J]. International Journal of Mineral Processing, 2006, 81(1): 44-50.
- [11]. Zhang L, Hu H, Wei L, Chen Q, Tan J. Effects of mechanical activation on the HCl leaching behavior of titanite, ilmenite, and their mixtures[J]. Metallurgical and Materials Transactions B, 2010, 41(6): 1158-1165.
- [12]. 姚金环, 黎铨海, 潘柳萍, 等. 机械活化强化矿物浸出过程的研究进展 [J]. 现代化工, 2011, 31(7): 12-15.
- [13]. 田磊, 张延安, 吕国志, 等. 机械活化对闪锌矿物化性质及焙烧动力学的影响 [J]. 中国有色金属学报, 2015, 25(12): 3535-3542.
- [14]. 伍凌, 陈嘉彬, 钟胜奎, 等. 机械活化 - 盐酸常压浸出钛铁矿的影响 [J]. 中国有色金属学报, 2015, 01: 211-219.
- [15]. Yuan T H, Cao Q Y, and Li J. Effects of mechanical activation on physicochemical properties and alkaline leaching of hemimorphite[J]. Hydrometallurgy, 2010, 104(2): 136-141.
- [16]. Hashemzadehfini M, Ficeriova J, Abkhoshk E, et al. Effect of mechanical activation on thiosulfate leaching of gold from complex sulfide concentrate[J]. Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 2011, 21(12): 2744-2751.
- [17]. Mulak W, Balaž P, Chojnacka M. Chemical and morphological changes of millerite by mechanical activation[J]. International Journal of Mineral Processing, 2002, 66(1): 233-240.
- [18]. Zhang Y, He L, Liu X. Effect of mechanical activation on leaching kinetics of pyrrhotite[J]. Journal of Central South University (Science and Technology), 2010, 6: 007.
- [19]. Yang F, Chao W U. Mechanism of mechanical activation for spontaneous combustion of sulfide minerals[J]. Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 2013, 23(1): 276-282.
- [20]. Chen G, Chen J, Peng J, et al. Dissociation of Ti_2O_3 from titania slag under mechanical activation[J]. Journal of Alloys and Compounds, 2011, 509(24): L244-L247.
- [21]. Chin P, Ding J, Yi J, et al. Synthesis of FeS_2 and FeS nanoparticles by high-energy mechanical milling and mechanochemical processing[J]. Journal of Alloys and Compounds, 2005, 390(1): 255-260.
- [22]. 谭平, 胡慧萍, 张黎. 机械活化和氧化 - 还原处理对攀西钛铁矿精矿盐酸浸出的影响 [J]. 中国有色金属学报: 英文版, 2011, 21(6): 1414-1421.
- [23]. Tang A, Su L, Li C, et al. Effect of mechanical activation on acid-leaching of kaolin residue[J]. Applied Clay Science, 2010, 48(3): 296-299.
- [24]. Zhang C, Min X, Chai L, et al. Mechanical Activation-Assisted Reductive Leaching of Cadmium from Zinc Neutral Leaching Residue Using Sulfur Dioxide[J]. Journal of Metals, 2015, 67(12): 3010-3021.
- [25]. Mohammadabad F, Hejazi S, Babakhani A. Mechanochemical leaching of chalcopyrite concentrate by sulfuric acid[J]. International Journal of Minerals, Metallurgy, and Materials, 2016, 23(4): 380-388.
- [26]. 刘娟, 张一敏, 黄晶, 等. 机械活化对石煤物化性质及

- 提钒浸出的影响[J]. 稀有金属, 2014, 1: 018.
- [27]. Wei L, Hu H, Chen Q, et al. Effects of mechanical activation on the HCl leaching behavior of plagioclase, ilmenite and their mixtures[J]. Hydrometallurgy, 2009, 99(1): 39-44.
- [28]. 李春, 陈胜平, 吴子兵, 等. 机械活化方式对攀枝花钛铁矿浸出强化作用[J]. 化工学报, 2006, 4: 832-837.
- [29]. 方兆珩. 浸出[M]. 冶金工业出版社, 2007.
- [30]. 张燕娟, 黎铨海, 潘柳萍, 等. 机械活化对钢铁酸锌溶解动力学及物化性质的影响[J]. 中国有色金属学报(中文版), 2012.01:315-323.
- [31]. Zhang C, Min X, Chai L, et al. Mechanical Activation-Assisted Reductive Leaching of Cadmium from Zinc Neutral Leaching Residue Using Sulfur Dioxide[J]. Journal of Metals, 2015, 67(12): 3010-3021.
- [32]. Sasikumar C, Rao D S, Srikanth S, et al. Dissolution studies of mechanically activated Manavalakurichi ilmenite with HCl and H₂SO₄[J]. Hydrometallurgy, 2007, 88(1): 154-169.
- [33]. 黎铨海, 张燕娟, 潘柳萍, 等. 机械活化对锌焙砂中浸渣硫酸溶解动力学的影响[J]. 中国有色金属学报: 英文版, 2013, 05: 1512-1519.
- [34]. Alex T, Kumar R, Roy S, et al. Towards ambient pressure leaching of boehmite through mechanical activation[J]. Hydrometallurgy, 2014, 144: 99-106.

Application and Research on Mechanical Activation in Mineral Leaching

He Aoxi¹, Chen Jin², Li Yiheng¹, Feng Kanglu¹

Huang Xiulan¹, Peng Jinhui^{1,2}, ChenGuo^{1,2}, Ruan Rongsheng¹

(1. Key Laboratory of Resource Clean Conversion in Ethnic Regions, Joint Research Centre for International Cross-border Ethnic Regions Biomass Clean Utilization in Yunnan, School of Chemistry and Environment of Yunnan Minzu University, Kunming, China;

2. Yunnan Provincial Key Laboratory of Intensification Metallurgy, Kunming, Yunnan, China)

Abstract: Leaching plays an important role in extraction of valuable metals. But the complexities and impurities with low reactivity of some minerals cause the low leaching rate, which has a negative effect on industrial production. Mechanical activation is a kind of new method to enhance the leaching behavior of mineral receiving extensive attention. Under the mechanical stress, breakage, deformation and various crystal defects of solid materials are formed because of the impact, extrusion and collision between materials, which results in the increase of the internal energy of materials and enhance the reactivity. The results of a lot research show that because of the strong mechanical force mechanical activation can decrease the particle size and the thermal stability, and increase the specific surface area and amorphous. In leaching reaction mechanical activation can improve the reactivity of mineral and change the controlling factors of leaching reaction resulting in the effective recovery of valuable metals. In this paper, the recent progress of mechanical activation in mineral leaching is reviewed.

Keywords: Mechanical activation ; Leaching ; Refractory minerals ; Dissolution kinetics