УДК 678.4.06:621.81

Дырда В.И., д-р техн. наук, профессор
(ИГТМ НАН Украины),
Калашников В.А., инженер
(ООО «ВАЛСА-ГТВ»)

ЭВОЛЮЦИЯ ЗАЩИТНЫХ ФУТЕРОВОК РУДОИЗМЕЛЬЧИТЕЛЬНЫХ МЕЛЬНИЦ

Дирда В.І., д-р техн. наук, професор
(ІГТМ НАН України),
Калашніков В.О., інженер
(ТОВ «ВАЛСА-ГТВ»)

ЕВОЛЮЦІЯ ЗАХИСНИХ ФУТЕРОВОК РУДОПОДРІБНЮВАЛЬНИХ МЛИНІВ

Dyrda V.I., D. Sc. (Tech.), Professor
(IGTM NAS of Ukraine),
Kalashnikov V.A., Engineer
(Valsa-GTV Ltd.)

EVOLUTION OF PROTECTIVE LININGS FOR THE ORE-GRINDING MILLS

Аннотация. Рассматривается эволюция защитных футеровок рудоизмельчительных мельниц от эпохи неолита до наших дней. В XII-VI тысячелетии до н.э. для добычи полезных ископаемых использовались каменные топоры и роговые кайла; в IV-I тысячелетии до н.э. они вытесняются сначала медными и бронзовыми, а затем железными кирками и молотами. Примерно в это время возникает новая область горного дела – обогащение минерального сырья. В статье подробно рассматривается переход от примитивных методов измельчения руд до технологии, использующей силу воды (XVI-XVII в.). Прообразом первых мельниц служила каменная ступка с пестом; в дальнейшем руду измельчали пестами (деревянное бревно с металлической головкой), а футеровкой служила металлическая плита; песты приводились в движение водоподъёмным колесом. Во второй половине XIX века водяные мельницы были вытеснены сначала паровыми, а затем электрическим приводами. В это же время появились металлические барабанные мельницы (жаровые и самоизмельчения), в которых защитной футеровкой служили металлические плиты и каменная броня. В середине XX века стала широко использоваться резиновая футеровка. Таким образом, эволюция защитных футеровок прошла путь от каменных и металлических плит до сложных композиционных материалов, изготавливаемых с помощью современных нанотехнологий.

Ключевые слова: история футеровок мельниц, эпоха неолита, ступка и пестик, водяное колесо, металлическая броня, резиновая футеровка

Указанная в заголовке тема, несмотря на имеющиеся публикации, для широкого круга читателей остаётся всё ещё terra incognita. Ни в работах авторов двадцатого века (Дэвис Э., Андреев С.Е., Перов В.А., Олевский В.А., Першин В.Ф., Крюков Д.К., Шинкоренко С.Ф. и др.), ни в весьма немногочисленных исследованиях современных учёных история развития защитных футеровок барабанных мельниц не рассматривается, как впрочем не рассматривается и история мельниц. Поэтому авторы вынуждены этот вопрос рассматривать как часть горного дела, исследования по которому в литературе представлены довольно широко.

Горное дело относится к древнейшей области деятельности человека: первое использование медных минералов для изготовления украшений датируется X-VIII тысячелетием до н.э.; распространение медных орудий датируется VI-V тысячелетием до н.э. Наряду с медными рудами добывалось золото, олово, свинец и др. металлы.

Важным фактором развития горного дела, определяющим его уровень в различные исторические периоды, являются орудия горного производства. В XII-VI тысячелетии до н.э. в основном использовались каменные топоры и роговые кайла; в V-IV тысячелетии до н.э. появляются кайла из меди и бронзы, бронзовые кирки и клинья; в I тысячелетии до н.э. они вытесняются железными кирками и молотами. В это время возникает новая область

@ Дырда В.И., Калашников В.А.

горного дела – обогащение минерального сырья. Добытую руду измельчали, сушили, просеивали на сите с различными отверстиями, обжигали и промывали в запрудах или деревянных корытах. В качестве дробильных орудий использовались каменные и металлические молотки, а также песты и тёрочники (растиральные плиты). Для измельчения использовались крупные камни округлой формы (куранты) и каменные плиты; по сути их можно считать прообразом защитных футеровок.

Такая технология обогащения руд сохранилась на протяжении довольно длительного времени; в усовершенствованном виде благодаря использованию водяных мельниц она просуществовала вплоть до XV-XVI веков.

Уже в античную эпоху проблемы горного дела, описание и систематизация минерального сырья обсуждались в работах Платона, Аристотеля, Геродота, Ветрувия, Плиния старшего и многих других; последний опубликовал работу «Естественная история ископаемых тел» (I век).

Таким образом, можно считать, что прототипом современных мельниц являются мельницы в виде песта и ступки из камня (известны с VIII тысячелетия до н.э.); за три тысячи лет до н.э. для измельчения полезных ископаемых в Египте и Китае использовались ручные мельничные жернова; в древней Мексике при добыче золота использовались арастры – по мощёному камнем дну круглой чаши конным приводом волочились тяжёлые камни округлой формы; использовались также растиральные плиты.

Старинное сирийское водоподъёмное колесо – нория

Дальнейшее усовершенствование технологии обогащения полезных ископаемых связано с применением водяных мельниц, в которых благодаря силе воды приводились в движение специальные толчеи, в которых падающие песты дробили руду. Но для этого истории понадобилось почти 15 веков и это несмотря на то, что первые водоподъёмные колёса были известны более чем за 3000 лет.

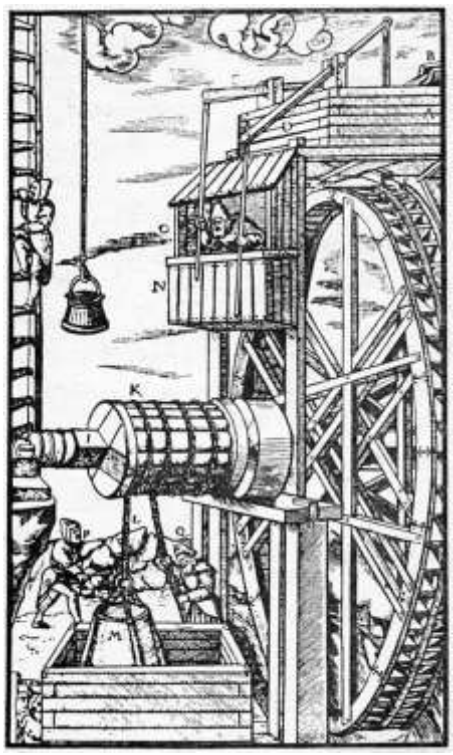
Наиболее полное описание обогащения полезных ископаемых в средние века приведено в восьмой книге Г. Агриколы в его фундаментальном труде «Двенадцать книг о горном деле и металлургии», изданном в 1556 году. В богато иллюстрированном издании подробно описываются различные способы ведения горных работ; там же Агрикола описывает систему методов разведки, добычи и переработки полезных ископаемых и, пожалуй, впервые горные знания называет «горным искусством».

Ниже приводятся выдержки из восьмой книги, дающие наглядное представление о том, как в XVI веке подробно излагались приёмы обогащения руд, какие сложные и малонадёжные механизмы использовались для этого, насколько тяжёлым и опасным был труд рабочих, требующий высокого профессионализма, и становится понятным, почему горные знания Агрикола назвал горным искусством.

«Поэтому я скажу теперь прежде всего о том, какими способами руды отделяют, дробят молотами, обжигают, мельчат пестами, толкут в муку, грохотят, промывают, отжигают и пережигают, и начну с первой из этих операций.

Опытные горняки уже при самой разработке рудных жил отделяют в шахтных стволах и штольнях чистую руду от земель, загустелых растворов и камней. Ценную руду они

откладывают в рудопромывные корыта, малоценную бросают в кади. Если же какой-либо рудокоп по своей неопытности либо в силу каких-либо обстоятельств этого не сделал, то выкопанную руду следует внимательно осмотреть и отделить часть, богатую металлом, от части, лишённой металла и состоящей из одних земель, загустелых растворов или камней. Ибо плавить негодную руду вместе с годной невыгодно, издержки на это пропадают даром, шлаки от плавки земляных и каменных пород пусты и бесполезны, а некоторые из загустелых растворов препятствуют выплавке металлов и причиняют этим ущерб. Камни должны быть отколоты от богатой руды, раздроблены и промыты, чтобы при их удалении не пропала и часть металла.

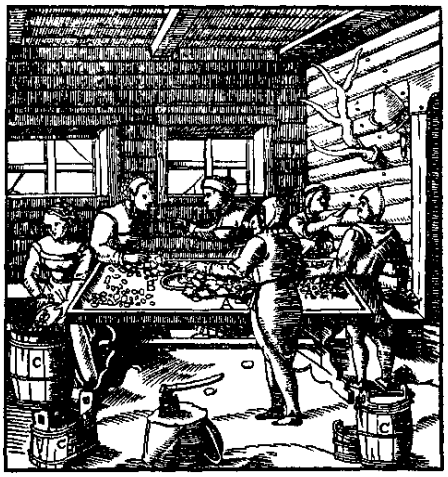


Шахтный подъём в XVI веке

Штуфы руд, которые извлекаются в самородном или лишь в сыром виде, в частности самородное серебро или сырое серебро свинцового либо пепельно-серого цвета, гиттенмейстеры плющат на камне тяжёлыми четырехгранными молотами. Затем они кладут полученные пластины на колоду и рассекают их на куски железными зубилами, ударяя по ним молотом, или расщепляют их особыми клещеобразными ножницами, одна из половинок которых длиной 3 фута прикреплена к неподвижной колоде, а другая длиной 6 футов собственно и режет металл. Нарезанные таким образом куски руды нагревают на железных сковородах и затем плавят во вторых плавильных печах.

Рудоразборщики кладут на каждый рудоразборный стол твёрдый и широкий камень. Рудоразборные столы по большей части сделаны из пригнанных одна к другой досок длиной 4 фута и такой же шириной; к трём сторонам стола прилажены борта высотой примерно 1 фут, передний же край, у которого помещается разборщик руды, открыт. А иные рудоразборщики кладут штуфы богатой золотом или серебром руды на камень, разбивают их широким, но не толстым молотом на куски и бросают в кадь либо, разбив их, отделяют отборные куски от менее ценных, отчего они, собственно, и получили своё название разборщиков, бросают их в различные кади и таким образом сортируют. Другие же точно так же кладут на камень штуфы и не столь богатой золотом или серебром руды и мелко дробят их широким и вместе с тем толстым молотом и бросают измельчённую руду в одну кадь. Имеется два рода таких кадей. Одни из них более глубоки и посередине несколько шире, чем снизу и сверху, другие помельче, снизу шире, кверху же несколько суживаются. Их прикрывают покрышкой, первые же открыты. В ушки тех и других вставляют железный прут с загнутыми концами, и, когда кадь нужно унести, берутся за этот прут.

Другой способ дробления руд молотами состоит в следующем. Большие и твёрдые куски руды дробят до того, как их обжигают. У рабочих, которые в Госларе дробят колчедан тяжёлыми кувалдами, ноги во время работы защищены как бы нопожами, сделанными из древесной коры, а руки очень длинными рукавицами, чтобы отскакивающие осколки руды не поранили их.



Длинный рудоразборный стол

Штуф руды

Рудоразборный стол

Толчейная площадка, мощённая камнем

Раздробленную руду сметают вениками в кучу и отправляют для промывки. Промывают руду на коротком промывном герде. Промывальщик становится у верхнего края этого стола и деревянным гребком пригоняет к себе воду, она сбегает снова вниз, унося более лёгкие частицы в подставленный жёлоб.

Руды подвергают обжигу из двояких соображений. Во-первых, по той причине, что, будучи превращены из твёрдых материалов в мягкие и рыхлые, они легче могут быть раздроблены кувалдами и толчейными пестами, благодаря чему их легче плавить, а во-вторых, потому что при этом сжигаются всякого рода жирные вещества, а именно: сера, битум, аурипигмент, реальгар.

Руды дробят толчейными пестами с железными головками для того, чтобы можно было отделить металл от камней и каменных по-

Поножи из коры

род. Устройство, служащее для этой цели, принадлежит к четвёртому виду различных устройств, которыми пользуются горняки. Сооружаются они следующим образом. На землю кладут дубовую колоду длиной 6 футов, толщиной и высотой $2^1/_4$ фута. Посреди её устраивают толчейный ящик длиной 2 фута и 6 пальцев, глубиной 1 фут и 6 пальцев. Передний его край открыт.

Груда медистых сланцев

Толчейный ящик и песты

Дно покрывают железной плитой толщиной в ладонь и шириной 2 ладони и 2 пальца; обе стороны этой железной плиты имеют клинья, которые загоняются в колоду, а её передний и задний края, кроме того, закреплены железными гвоздями. По сторонам толчейного ящика под колодой устанавливают два столба, верхние концы которых слегка обтёсаны, и вставляют их в отверстия, проделанные в балках строения. В $2^1/_2$ футах над толчейными ящиками укреплены два, вплотную пригнанные один к другому параллельные бруса, концы которых, несколько вырезанные с внутренней стороны, вправлены в наружные вырезы этих столбов.

Раздробленные камни, гравий и песок, извлечённые и собранные из толчейного ящика или из груды их близ рудника, рабочий бросает в особый ящик, спереди открытый, имеющий длину 3 фута и ширину до $1^1/_2$ фута, с наклонными сторонами из досок. Его дно представляет сетку, сплетённую из железной проволоки, привязанную такой же железной проволокой к двум железным прутам, прикреплённым к обеим сторонам этого ящика. Через эту сетку не могут проходить обломки величиной с орешину. Крупные куски, которые не могут пройти через сетку, рабочий вновь относит в толчею. Мелочь же, что через неё проходит, равно как гравий и песок, просеивающиеся через неё, он собирает в большую кадь и сберегает для промывки. После того как руда просеяна, упомянутый ящик привешивают двумя канатами к балке. Этот ящик можно также называть четырёхугольным ситом, как и те, которые я описываю в дальнейшем.

Если руда богата металлом, то муку, песок, крупу и орешек из каменной породы висячего бока выгребают из руды гребком или граблями, бросают лопатками в большое сито или корзину и промывают в кади, почти до краёв наполненной водой. Решето обычно имеет в поперечнике 1 локоть и $^1/_2$ фута в глубину, и его дно имеет столь малые отверстия, что сквозь него просеиваются лишь зерна руды, не крупнее горошин. Дно его состоит из железной проволоки, натянутой крест-накрест на железный обруч и в местах переплетений связанной железными усиками и подпёртой двумя перекрещивающимися железными прутьями. Барабан сита — деревянный, сделанный в форме бочки, опоясывается двумя

железными ободами; иные опоясывают его ореховыми или дубовыми ободьями, но в таком случае – тремя. Сито имеет с обеих сторон ушки, за которые промывальщик, когда нужно, ухватывается руками. В это сито мальчик бросает промывочный материал, и женщина встряхивает сито, наклоняя его из стороны в сторону. Вследствие этого сквозь сито просеивается рудная мука, рудный песок и мелкие орешки руды. Более крупные её кусочки остаются на сите; их складывают в кучу и бросают под толчейные песты. А шлам с мелкими орешками руды, рудным песком и крупой после того, как вода из кади выпущена, выгребается из неё железной лопатой и промывается в жёлобе, о котором я скажу несколько позднее».

Пест с головками

Водоподъёмное колесо и песты

Современным инженерам и рабочим должны быть понятны те трудности, которые испытывали рабочие и мастера в XVI веке при таком трудоёмком процессе как процесс обогащения руд.

Следует подчеркнуть, что уже в те далёкие времена Агрикола был обеспокоен экологической безопасностью. В своей книге он пишет: «Леса и рощи вырубаются, а затем уничтожаются звери и птицы, очень многие из которых являются приятной пищей для человека. Кроме того, после промывки руд использованная вода отравляет ручьи и потоки, и либо уничтожает рыбу, либо вынуждает её мигрировать. Поэтому жители этих регионов … испытывают значительные трудности в приобретении необходимого для жизни …».

Описанная Агриколой технология обогащения руд применялась практически во всех странах Европы, в том числе и в России.

В 1843 г. А.И. Узатисом был опубликован «Курс горного искусства»; в главе IX «Механическая обработка руд» подробно описаны операции рудоразборки, толчения и дробления руд, отсадка на решетах, промывка и т.д. Представляют интерес описания процесса дробления руды в толчеях с помощью пестов (самая современная по тем временам технология, использующая водяные колёса; цитируется по оригиналу): «Толченіе рудъ производится въ толчеи, которая, въ общемъ видѣ своемъ, представляетъ нѣсколько пестовъ, расположенныхъ одинъ возлѣ другаго, и поднимаемыхъ кулаками, сидящими на дѣйствующемъ валѣ, на высоту неболѣе 1 ф. Очевидно, что песты при своемъ паденіи, ударяя въ лежащіе подъ ними куски рудъ, будуть ихъ раздроблять. Толчеи раздѣляются на сухія и мокрыя; первыя употребляются рѣдко и служитъ исключительно для разбивки уже достаточно обработанной руды, поступающей въ плавку; вторыя же имѣютъ большое

употребленіе въ рудномъ обогащеніи и отличаются отъ первыхъ тѣмъ, что въ нихъ толчейное корыто притекаетъ вода, уносящая, въ видѣ мути, части рудъ, достаточно измельченныя…Дно толчейнаго корыта состоитъ изъ довольно крупныхъ кусковъ бѣдной кварцеватой руды, сильно уколоченной пестами, при небольшомъ притокѣ воды. Это дно не должно доходить до верхняго края корыта отъ 16 до 22 д., смотря по крупности зерна, которое желаютъ получить при толченіи, ибо ясно, что при одинаковомъ притокѣ воды, толченіе будетъ тѣмъ мельче, чѣмъ глубже корыто. Къ верхнимъ краямъ корыта приставляются наклонныя доски съ одной либо обѣихъ сторонъ, по которымъ толчейная муть стекаетъ въ жолобъ *m*. Чтобъ предупредить разбрызгиваніе мути, укрѣпляютъ надъ корытомъ доски *n*, желѣзными скобами и засовками. Песты *o* представляютъ квадратные брусья, вышиною до 2 с., къ нижнему концу которыхъ укрѣплены желѣзные наконечники или подпестики *p*. Деревянные пальцы *s* вставляются въ вырѣзки въ пестахъ и укрѣпляются къ нимъ клиньями, которыми можно измѣнять положеніе пальцевъ, и тѣмъ увеличивать либо уменьшать высоту подъема пестовъ. Вѣсъ подпестиковъ бываетъ отъ 2 до $2^1/_2$ пудовъ, а вѣсъ всего песта отъ 8 до 10 пудовъ; самый тяжелый подпестикъ располагается подъ среднимъ пестомъ…Каждый пестъ дѣлает въ 1′ около 40 ударовъ, при высотѣ подъема въ 1 ф.»

Сито из железной проволоки

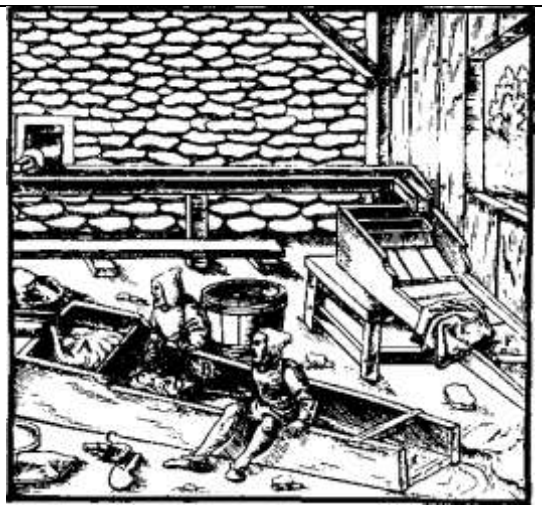
Сито

Сито и его ушки

Корзина и её ушки

Промывной жёлоб

Поперечный жёлоб



Верх промывного желоба

Мельница для дробления золотоносной руды в XVI веке

Такая технология дробления и измельчения руд просуществовала вплоть до второй половины XIX века. К этому времени горнозаводское дело в России получило широкое развитие. В 1717 г. Пётр I учредил Берг-коллегию о рудах и минералах, которая определяла государственную политику в горном деле; в 1807 г. она прекратила своё существование и её функции перешли к Горному департаменту, который с 1811 г. возглавил А.Ф. Дерябин. Именно ему принадлежит издание проекта «Горное положение», на основе которого в 1893 г. был издан «Устав Горный». В этом уставе были изложены требования к организации горно-добычных работ, ряд из них касался и процессов обогащения полезных ископаемых. При этом основное внимание уделялось разведке и добыче минерального сырья, процессам же дробления и измельчения руд уделялось совершенно недостаточно внимания. По сути, кроме технологии, изложенной А.И Узатисом в 1943 г., и которая предполагала измельчение руд пестами в толчеях, ничего другого практически не было. Современному исследователю не совсем ясно, как с помощью самых примитивных механизмов (и, конечно же, большой роли ручного труда) можно было добыть столько металла, чтобы построить заводы, железные дороги, металлургическую промышленность и т.д. И, тем не ме-

нее, за последние 15 лет XIX века протяжённость железных дорог в России увеличилась с 26 до 52 тыс. км.

Такой прорыв стал возможен в том числе и благодаря горной науке, которая в середине XVIII века, используя достижения физики, механики и математики, приобрела довольно солидный научный фундамент. Труды Г. Агриколы, Ульриха фон Колбе, М.В. Ломоносова и других учёных заложили основу представлений в области разведки, добычи и переработки минерального сырья. М.В. Ломоносов в 1749 г. в письме к В.Н. Татищеву писал: «Главное моё дело есть горная наука»; его книга «Первые основания металлургии или рудных дел» положила начало технологической литературе в горном деле.

Среди наиболее известных исследований конца XIX и начала XX века следует назвать труды Г.Д. Романовского «Очерк главнейших технических усовершенствований в рудничном деле»; И.А. Тиме и Г.Я. Дорошенко «Справочная книга для горных инженеров и техников» (1879-1880 г.г.), труды В.И. Бокия (1914 г.), А.А. Скочинского (1901 г.) и многих других. В этих работах, равно как и в работах других авторов, имеются сведения (впрочем, весьма и весьма скудные) и об обогащении полезных ископаемых.

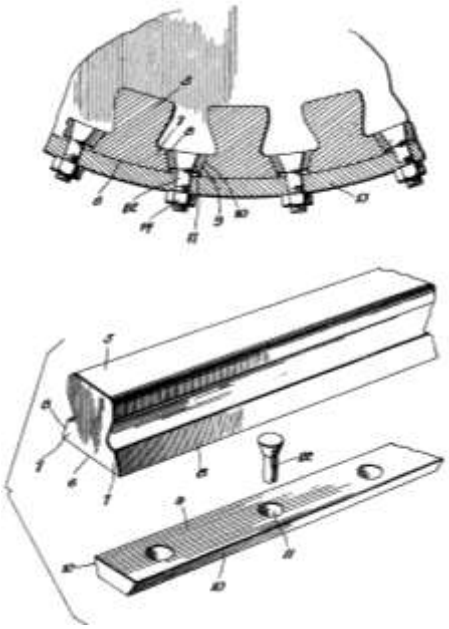
Во второй половине XIX века технология дробления руд пестами в толчеях стала вытесняться совершенно новой технологией, использующей барабанные мельницы и флотационные машины. Поэтому дальнейшая история обогащения руд – это история возникновения и эволюции барабанных мельниц, неразрывно связанная вначале с паровым, а потом и с электрическим приводами.

Согласно горной энциклопедии: «МЕЛЬНИЦА (a. mill; н. Muhle; ф. moulin, broyeur; и. molino) – машина или аппарат для измельчения сыпучих материалов. Применяют при рудоподготовке, обогащении полезных ископаемых, в металлургии, теплоэнергетике, химической и других отраслях промышленности. Различают мельницы барабанные (шаровые, стержневые, трубные, конусные, самоизмельчения), роликовые (ролико-кольцевые, шарокольцевые, катково- чашевые, катково-дисковые), ударно-центробежные (молотковые, дезинтеграторы, дисмембраторы), жерновые, вибрационные, струйные…Первая роликовая мельница изобретена Шранцем в Германии в 1870. Барабанные мельницы применяются с 80-х гг. 19 века, широко распространены с 1910. Первая галечная мельница (барабанная) появилась в Южной Африке в 1875. Идея использования струи сжатого газа для сообщения скорости куску при дроблении запатентована в 1880, но разработки струйных мельниц начаты в 1925. Метод самоизмельчения впервые применён в 1908 для измельчения магнетита в конических мельницах без шаров на одной из обогатительных фабрик в Пенсильвании (США). Мельницы самоизмельчения больших диаметров разрабатывались с 1930, в промышленности появились в 1940-45; бесшаровые мельницы — в 1940-45. Молотковые мельницы применяются с 1925, хотя патент на ударную мельницу с закреплёнными билами выдан в Великобритании Х. Кариеру ещё в 1875. Первые конструкции шаровых вибрационных мельниц разработаны в Германии в 1933-40. Первые конусные мельницы установлены в США на медно-цинковой фабрике в 1948. По принципу действия мельницы разделяются на механические (измельчающие органы приводятся в движение специальным механическим приводом) и струйные (разрушение частиц происходит в результате их удара друг о друга или о неподвижную преграду при разгоне сжатым воздухом, газом или паром). В механических мельницах измельчающие органы при работе под нагрузкой отделяются друг от друга небольшим переменным слоем измельчённого материала, а на холостом ходу, как правило, соприкасаются. Измельчающими органами механических мельниц являются рабочий корпус и находящиеся в нём мелющие тела, которые

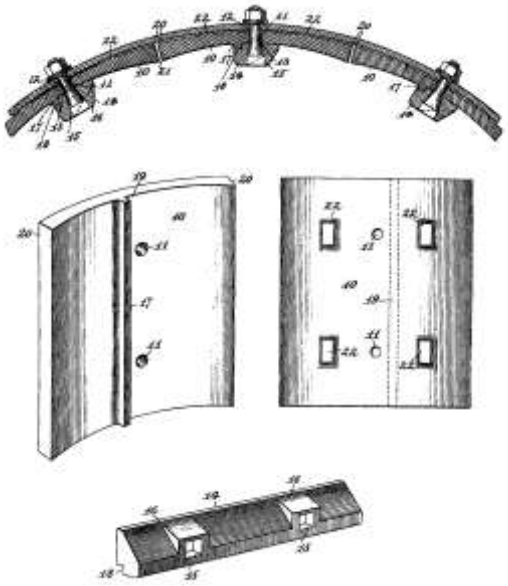
могут быть как закреплёнными (бегуны, ролики, молотки, била), так и свободно перемещающимися (шары, стержни, галька, куски самого измельчаемого материала)».

Защитными футеровками в таких мельницах служила металлическая броня в виде специальных плит со сложным профилем рабочей поверхности, которые с помощью системы «винт – гайка» крепились к металлическому барабану. Для измельчения специальных материалов использовались каменные футеровки, в частности, использовался кремень. Сведения о долговечности и эффективности таких футеровок вплоть до 40-х г.г. XX века в известной литературе практически отсутствуют.

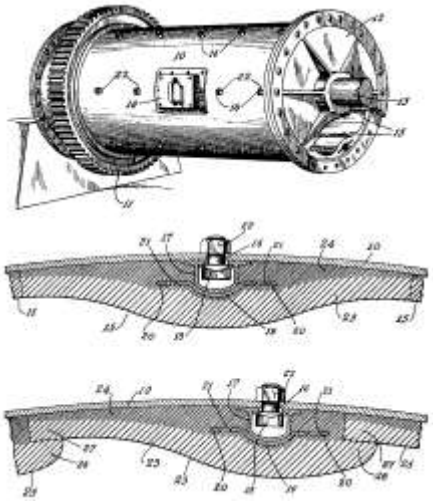
На приведённых ниже рисунках показаны конструкции металлических футеровок, характерные для начала XX века; рисунки заимствованы из опубликованных патентов. Следует подчеркнуть, что на Украине, в частности на НКМЗ, барабанные мельницы с металлической футеровкой стали выпускать, начиная с 1935 года.



Патент №1534000, 1925 г. R.H. Baker



Патент №1289501, 1918 г. W.S. McKee



Патент №1601956, 1926 г. J.R. Gammeter

Современная барабанная шаровая мельница

Начиная со второй половины прошлого века, серьёзную конкуренцию металлическим футеровкам составили резиновые футеровки.

Таким образом, можно констатировать, что эволюция рудоизмельчительных мельниц прошла путь от каменной ступки с пестом до современных конструкций барабанных мельниц диаметром 12-18 м, мощностью более 40000 кВт и с автоматизированным управлением процесса измельчения руд; соответственно эволюция защитных футеровок прошла путь от каменных и металлических плит до сложных композиционных материалов, изготавливаемых с использованием современных нанотехнологий. Для наглядности ниже приводятся мельницы двух технологий: мельница для дробления руды в XVII-XVIII веках и современная барабанная шаровая мельница.

Об авторах

Дырда Виталий Илларионович, доктор технических наук, профессор, заведующий отделом механики эластомерных конструкций горных машин, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ НАНУ), Днепропетровск, Украина, vita.igtm@gmail.com

Калашников Вячеслав Алексеевич, инженер, директор ООО «ВАЛСА-ГТВ», Белая Церковь, Украина

About the authors

Dyrda Vitaly Illarionovich, Doctor of Technical Sciences (D. Sc.), Professor, Head of Department of Elastomeric Component Mechanics in Mining Machines, M.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Science of Ukraine (IGTM, NASU), Dnepropetrovsk, Ukraine, vita.igtm@gmail.com

Kalashnikov Vyacheslav Alekseevich, Engineer, Director Valsa-GTV Ltd., Belaya Tserkov, Ukraine

Анотація. Розглядається еволюція захисних футеровок рудоподрібнювальних млинів від епохи неоліту до наших днів. В XII-VI тисячолітті до н.е. для видобутку корисних копалин використовувалися кам'яні сокири і рогові кайла; в IV-I тисячолітті до н.е. вони витісняються спочатку мідними і бронзовими, а потім залізними кирками і молотами. Приблизно в цей час виникає нова область гірничої справи - збагачення мінеральної сировини. У статті детально розглядається перехід від примітивних методів подрібнення руд до технології, що використовує силу води (XVI-XVII ст.). Прообразом перших млинів служила кам'яна ступка з товкачем; надалі руду подрібнювали товкачами (дерев'яне колоду з металевою голівкою), а футеровкою служила металева плита; товкачі приводилися в рух водопідйомним колесом. У другій половині XIX століття водяні млини були витіснені спочатку паровими, а потім електричними приводами. В цей же час з'явилися металеві барабанні млини (жарові і самоздрібнювання), в яких захисної футеровкою служили металеві плити і кам'яна броня. В середині XX століття стала широко використовуватися гумова футерівка. Таким чином, еволюція захисних футерівок пройшла шлях від кам'яних та металевих плит до складних композиційних матеріалів, що виготовляються за допомогою сучасних нанотехнологій.

Ключові слова: історія футеровок млинів, епоха неоліту, ступка і товкач, водяне колесо, металева броня, гумова футеровка

Abstract. Evolution of protective linings for the ore grinding mills is considered from the Neolithic to the present day. In XII-VI millennium BC, stone axes and horny pickaxe were used for mineral mining; in IV-I millennium BC, they were supplanted first by copper and bronze, and then iron picks and hammers. Around this time, a new line of mining art – mineral processing - appeared. The article details a transition from primitive methods of ore grinding to technology that uses power of water (XVI-XVII c.). The prototype of the first mills was a stone mortar with pestle; later ore was milled by the pestles (wooden timber with a metal head), and a metal plate was the lining; pestles were driven by water-lifting wheel. In the second half of the XIX century, water mills were driven first by steam and then by electric actuators. At the same time, metal drum mills appeared (fire mills and self-grinding mills), in which metal plates and stone armor served as a protective lining. In the middle of the XX century rubber lining was widely used. Thus, evolution of protective linings has gone long way from stone and metal plates to complex composite materials, which are produced with the help of modern nanotechnology.

Keywords: mill lining history, Neolithic, mortar and pestle, water wheel, metal armor, rubber lining

Статья поступила в редакцию 01.09.2014

Рекомендовано к печати д-ром техн. наук, проф. В.П. Надутым

УДК 622.539.375

Кобец А.С., д-р эконом. наук, профессор,
Сокол С.П., канд. техн. наук
(ДГАЭУ),
Твердохлеб Т.Е., инженер
(ИГТМ НАН Украины),
Толстенко А.В., канд. техн. наук
Колбасин В.А., канд. техн. наук, доцент
Черний А.А., магистр
(ДГАЭУ)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВРЕМЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК РЕЗИНОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ МАШИН С УЧЁТОМ РАЗВИВАЮЩЕЙСЯ ПОВРЕЖДЁННОСТИ

Кобець А.С., д-р економ. наук, професор,
Сокол С.П., канд. техн. наук
(ДДАЕУ),
Твердохліб Т.О., інженер
(ІГТМ НАН України),
Толстенко О.В., канд. техн. наук
Колбасін О.В., канд. техн. наук, доцент,
Черній О.А., магістр
(ДДАЕУ)

ВИЗНАЧЕННЯ ЧАСОВИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГУМОВИХ ЕЛЕМЕНТІВ МАШИН З УРАХУВАННЯМ ПОШКОДЖЕНОСТІ, ЩО РОЗВИВАЄТЬСЯ

Kobets A.S., D. Sc. (Ec.), Professor,
Sokol S.P., Ph. D. (Tech.)
(DSAEU),
Tverdokhleb T.Ye., Engineer
(IGTM NAS of Ukraine),
Tolstenko A.V., Ph. D. (Tech.)
Kolbasin V.A., Ph. D. (Tech.), Associate Professor,
Cherniy A.A., M. Sc. (Tech.)
(DSAEU)

DETERMINATION OF TIME CHARACTERISTICS FOR RUBBER ELEMENTS OF MACHINES WITH TAKING INTO ACCOUNT DEVELOPING DAMAGES

Аннотация. С помощью метода Валпола разработан алгоритм расчёта временных характеристик резиновых элементов вибрационных машин (грохотов, питателей, конвейеров и т.д.), работающих при длительных циклических нагрузках. В процессе эксплуатации таких машин в их упругих звеньях накапливается повреждённость, приводящая к изменению макрохарактеристик материала: модуля сдвига и коэффициента диссипации. Процесс накопления и развития микроповреждений в материале интерпретируется как образование в первоначально однородном материале некоторых областей, имеющих характер включений, свойства которых отличны от свойств исходного материала. В работе используется метод Валпола, позволяющий определять эффективные (усреднённые по некоторому объёму материала) характеристики резины с учётом развивающейся повреждённости. Для конкретного примера приводятся зависимости модуля упругости, эффективного модуля и коэффициента диссипации от повреждённости.

Ключевые слова: резина, временные характеристики, повреждённость, метод Валпола, эффективный модуль материала

В тяжёлых машинах, работающих в стационарном динамическом режиме, упругие звенья испытывают значительные нагрузки, которые приводят к существенному изменению структуры материала во времени эксплуатации. В конечном итоге это приводит к накоплению повреждённости и к изменению макрохарактеристик материала: модуля сдвига G и коэффициента диссипации ψ.

@ Кобец А.С., Сокол С.П., Твердохлеб Т.Е., Толстенко А.В., Колбасин В.А., Черний А.А.