

Разработка ударно-зубчатых молотков на основе анализа теоретических исследований трещинообразования

^{1*}**ИСКАКОВ Руслан Маратбекович**, к.т.н., ассоциированный профессор, rus.iskakov79@mail.ru,

¹**ИСЕНОВ Султанбек Сансызбаевич**, к.т.н., ассоциированный профессор, isenov_sultan@mail.ru,

¹**КУБЕНТАЕВА Гульмира Кусаиновна**, старший преподаватель, gulmirakk@mail.ru,

¹**ЗАИЧКО Григорий Анатольевич**, к.т.н., ассоциированный профессор, gzaichko@mail.ru,

¹Казахский агротехнический университет им. С. Сейфуллина, Казахстан, 010011, Нур-Султан, пр. Женис, 62,

*автор-корреспондент.

Аннотация. Цель работы заключается в анализе и обобщении новых теоретических исследований в области трещинообразования, что значительно влияет на разрушение и измельчение объектов на части. Решение данной задачи возможно за счет внедрения новых изобретений и полезных моделей. Выявлено, что в исследованиях пристальное внимание обращается на рост трещины, хрупкое разрушение, разрыв поверхности, ударные волны, точки контакта, косой удар, инженерные идеи, устойчивое движение, рабочие скорости, теории вязкоупругости, микротрещины, теорию конической и кольцевой трещин, распределение трещин, сдвиговую нагрузку, эллиптическую трещину. Результаты исследований подтверждаются расчетными и эмпирическими данными, полученными зависимостями и уравнениями, схематическими изображениями, объясняющими и обосновывающими траектории направления распространения трещин. Многие исследования опираются на теорию Гриффитса, преобразования Лапласа и Фурье. В результате анализа теорий трещинообразования нами разработаны новые технические решения – молоток для дробления и измельчения (инновационный патент Республики Казахстан № 29946), зубчато-стержневый молоток молотковой дробилки (патент Республики Казахстан № 6470).

Ключевые слова: сельскохозяйственное и пищевое машиностроение, молотки, молотковые дробилки, удар, трещинообразование.

Введение

Разработка новых технических решений, изобретений и полезных моделей требует проведения тщательного анализа передовых теоретических научных исследований. Детальное рассмотрение результатов предшествующих теорий, гипотез, моделей, идей и рекомендаций способствует эффективным и перспективным разработкам. При изучении процесса измельчения нами поставлена задача изучить новые результаты по трещинообразованию, что в значительной степени влияет на разделение и разрушение материала, и разработать молоток молотковой дробилки с использованием рабочих элементов поверхностей молотка, способствующих увеличению срока эксплуатации молотка и износостойкости рабочих поверхностей молотка, а также повышению производительности по измельчаемому материалу.

Результаты исследований

В статье Маркочева В.М. и Алымова М.И.

«О теории хрупкого разрушения Я. Френкеля и А. Гриффитса» дается анализ теории хрупкого разрушения Френкеля и предпринята попытка модернизации теории хрупкого разрушения Гриффитса на основе идей Френкеля. Стабильной длине трещины по Френкелю и по модернизированному уравнению Гриффитса соответствует локальный минимум потенциальной энергии, что фактически устраняет сингулярность при нулевой длине трещины [1].

В статье Javier Bonet и Antonio J. Gil «Математические модели сверхзвуковой и межзвуковой трещины, распространение в линейной эластодинамике» рассмотрен скачок в растворе, то есть разрыв поверхности с нормальным элементом n , перемещающимся внутри твердого тела с нормальной скоростью, показанной в соответствии с рисунком 1, где переменные впереди ударной волны обозначены знаком «+», тогда как значение переменных, стоящих за шоком, отождествляется с надстрочным индексом «-».

Здесь следует обратить внимание на то, что

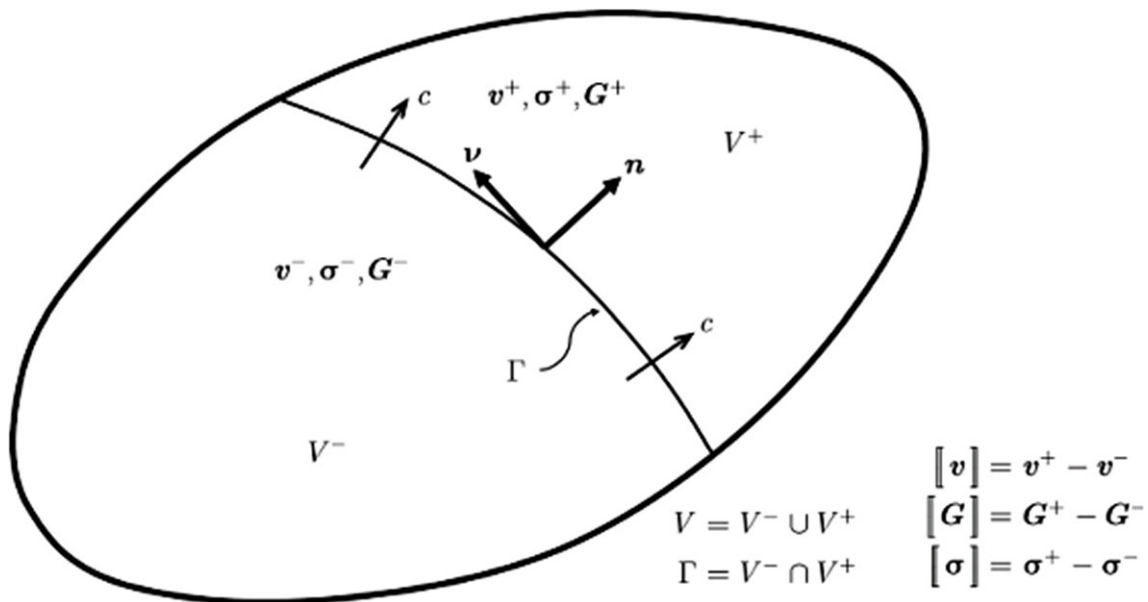


Рисунок 1 – Шок или решение прерывания перемещения внутри двухмерного твердого тела

в пределе несжимаемого объема это отношение имеет тенденцию до бесконечности в случае плоской деформации, но при плоском напряжении скорость волны давления не может превышать двух скоростей поперечной волны. Фактически, в плоском напряжении волну давления следует более правильно описать как нормальную или продольную волну, так как она включает изменения по толщине и, следовательно, поперечной из плоскости искажения [2].

Немаловажным являются процессы отскока измельчаемых частиц, которые зависят от угла удара. Поэтому Hisao Hayakawa, Hiroto Kuninaka введен коэффициент тангенциального восстановления β как

$$V_c \cdot t = -\beta V_c \cdot t,$$

где t – единичный тангенциальный вектор (рисунок 2). β является функцией угла падения γ , который определяется как $\gamma = \arctan(v_t/v_n)$ с $v_n = v_c \cdot n$ и $v_t = v_c \cdot t$.

Связь между воздействием скорости v центра масс и v_c в точке контакта определяется выражением

$$V_c = V - R\omega \times n,$$

для твердых сфер, где R и ω – радиус сферы и угловая скорость сферы соответственно.

Таким образом, японскими учеными Hisao Hayakawa, Hiroto Kuninaka отмечается, что, к сожалению, большинство существующих теорий исследуемого удара основаны на инженерной идее и не так просты. В некоторых случаях предположение теории может быть неверным.

Учеными Liu B., Zhang D.X., Zong L., Zhao B., Zhang, Y.D., Wang G.L., Zhang H., Zhang J.B., Jiao F. исследованы фактические состояния движения молотков при устойчивом движении молотко-

вой мельницы, что является важной основой для анализа динамических характеристик ротора молотковой мельницы и механизма износа между молотками и шарнирами молотка. Чтобы исследовать фактические состояния движения молотков, использовалась высокоскоростная фотосъемка для записи мгновенных состояний молотков. Был проведен сравнительный анализ изображений, записанных при трех различных рабочих скоростях. Результаты показали, что для каждого молотка молотковой мельницы существует случайное статическое отклонение и для всех молотков существуют явления хаоса с положениями относительного покоя в диапазоне определенного угла [4].

В рамках линейной теории вязкоупругости Georgiadis H.G. рассмотрена задача о динамическом ударе.

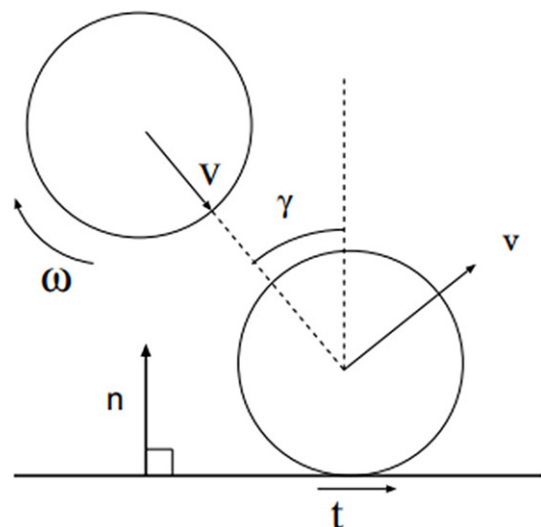


Рисунок 2 – Схематическое изображение столкновения шара с плоской стеной [3]

ческой трещине переходного типа. Речь идет о трещине конечной длины, движущейся в полосообразном вязкоупругом теле под ударной нагрузкой. При этом были использованы преобразования Лапласа и Фурье, и полученные двойственные интегральные уравнения были сведены к интегральному уравнению Фредгольма второго рода.

Akimune Y., Akiba T., Okamoto Y., Hiroaki N. была исследована взаимосвязь между критическими скоростями удара ($V(c)$) при зарождении трещин и свойствами материалов с различной микроструктурой. Вся керамика из нитрида кремния показывала конусную трещину Герца при ударе по $V(c)H$ и показывала четкую взаимосвязь с $K(IC)$ в соответствии с теорией конической трещины Герца, однако взаимосвязь между модулем Юнга не была четко определена. Относительно $V(c)R$ для возникновения кольцевой трещины не показывает точной взаимосвязи между прочностью на изгиб и модулем Юнга. В нитриде кремния с более высоким $K(IC)$, который включает 30-50 мкм игольчатых зерен, рост трещины конуса Герца подавлялся из-за поверхностной кольцевой трещины, а также подавлялось расширение трещины конуса Герца [5].

Wang D.K., Sun L.T., Wei J.P. были проведены испытания на холодный и горячий-холодный удар для изучения изменения микроструктуры угля и механизма его разрушения и разрушения при температурном шоке, на сухом гранулированном угле. Микроморфология, распределение трещин, растрескивание и растяжение образцов угля до и после температурного воздействия были проанализированы и сопоставлены с помощью сканирующей электронной микроскопии (SEM). Механизм растрескивания и направление распространения микротрещин в образцах угля были проанализированы на основе теории механики разрушения. Распределение полей напряжений и смещений во время распространения микротрещин было смоделировано с помощью программы конечных элементов ANSYS, чтобы выявить механизм разрушения образцов угля. Результаты показали, что структура угля была

разрушена двумя типами температурных ударов, и термическое напряжение, вызванное температурными ударами, в конечном итоге привело к расширению исходной трещины. Основными типами трещин, вызванных температурным воздействием, были межзеренная трещина, транскристаллическая трещина, аэродинамическая трещина, поперечная трещина, дендритная трещина в виде усов и трещина сетки. Выявлено, что чем больше разница температур, тем выше термическое напряжение. Горячий-холодный удар может привести к большему количеству трещин и более обширному распространению трещин, чем холодный удар, что приведет к более серьезным повреждениям образцов угля. Следовательно, холодно-горячий удар имеет лучший эффект разрушения угля, чем холодный удар [6].

На рисунке 3 показана модель силы разрушения эллиптической трещины с трехточечным изгибом типа I.

Предполагая, что длинная ось эллипса равна $2a$, короткая ось равна $2b$, а координаты точки равны $(c, 0)$, параметрическое уравнение плоского эллипса задается в следующей форме:

$$x = a \cdot \cos t,$$

$$y = b \cdot \sin t.$$

Выражение кривизны эллипса может быть вычислено следующим образом [8]:

$$k(t) = \frac{ab}{(a^2 \sin^2 t + b^2 \cos^2 t)^{(3/2)}}.$$

В параметрических уравнениях эллипса координаты на обоих концах равны $(-a, 0)$ и $(a, 0)$, $t=0$ и $t=\pi$ и подставляются в выражение для кривизны эллипса, чтобы получить кривизну на обоих концах эллипса, а выражение радиуса кривизны на обоих концах эллипса имеет следующий вид:

$$\rho = \frac{1}{k(t)} = \frac{b^2}{a}.$$

Напряжение в конце эллиптической трещины равно

$$\sigma_A = \sigma \left(1 + \frac{2c}{a} \right).$$

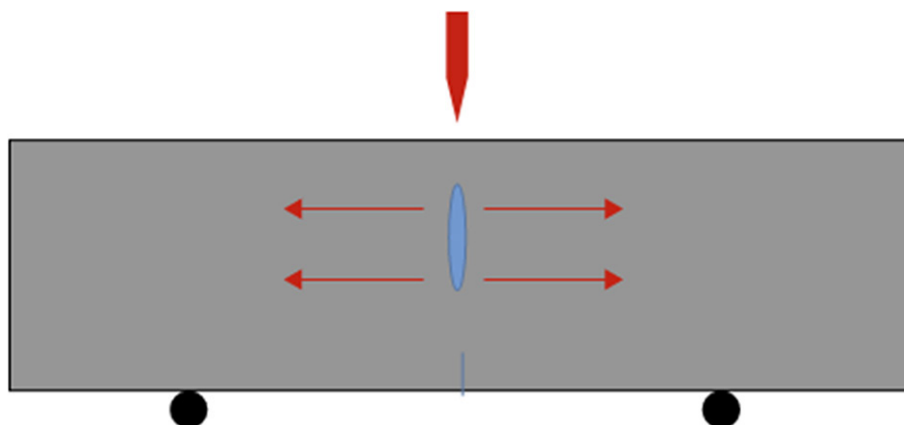


Рисунок 3 – Схема напряжения при трехточечном изгибе эллиптической трещины I типа [7]

Согласно теории разрушения Инглиса, подставив формулу для радиуса кривизны в приведенную выше формулу, можно представить:

$$\sigma_A = \sigma \left(1 + 2\sqrt{\frac{c}{\rho}} \right) = \sigma (1 + 2\sqrt{ck(t)}),$$

где σ_A – напряжение на конце эллиптической трещины, σ – приложенное напряжение, a – атомное расстояние, ρ – радиус кривизны, $2c$ – длина трещины. Поэтому $c \gg \rho$, тогда (c/ρ) является большим 1. Тогда

$$\sigma_A = 2\sigma\sqrt{ck(t)}.$$

Согласно теории Гриффитса, это равняется теоретической прочности связи σ_A , и трещина раздвигается для дальнейшего расширения σ_{TH} , вызывая разрушение материала.

$$\sigma_{TH} = \left(\frac{\gamma E}{a} \right)^{(1/2)}.$$

Теоретическая прочность связи связана только с константами материала, такими как модуль упругости, поверхностная энергия и атомное расстояние.

Основываясь на линейной упругой механике и теории хрупкого разрушения, в исследовании, проведенном Peng Xu et al., предлагается коэффициент влияния фактора интенсивности напряжений η , а именно $SIF = \eta\sigma$. Когда расстояние между точкой измерения и вершиной трещины приближается к 0, коэффициент интенсивности напряжений на вершине трещины типа I имеет линейную зависимость с составляющей напряжения, перпендикулярной направлению распространения трещины. Пусть будет доступное приложенное напряжение. Тогда можно получить SIF :

$$SIF = \frac{\eta E}{20(c)^{(1/2)}} [k(t)]^{-(1/2)}.$$

Данное уравнение показывает, что с увеличением кривизны напряжение в вершине трещины и SIF уменьшаются. Следовательно, напряжение в вершине трещины связано не только с модулем упругости, но и с кривизной вершины трещины, и соответственно увеличивается и уменьшается.

Phurkhao, P. исследовалась переходная характеристика насыщенного пористого цилиндра, содержащего трещину и подвергнутого внезапно приложенной нормальной нагрузке. Общие уравнения теории Био применяются в формулировке совместно с преобразованиями Лапласа и интегралами для сведения смешанной краевой задачи к решению интегрального уравнения Фредгольма второго рода. Используется метод численной инверсии Лапласа, и для выбранных значений свойств материала вычисляются зависящие от времени величины локального поля напряжений вблизи границы трещины, измеренные в терминах динамического коэффициента интенсивности напряжений. Эти результаты представлены и сопоставлены с результатами для сухой среды, чтобы выяснить влияние на динамический коэф-

фициент интенсивности напряжений.

В результате проведения анализа теоретических исследований нами разработаны ударно-раскалывающие молотки (рисунки 4-8). Молоток в соответствии с рисунком 4 обеспечен стержнями, что способствует более быстрому трещинообразованию в измельчаемом сырье и повышает работоспособность дробилки в целом. Оригинальность молотка подтверждена патентом [9]. Данный молоток шарнирно подвешивается на ось (рисунок 5). На оси возможно закрепить до пяти таких молотков, между которыми установлены шайбы (рисунок 6). На рисунке 7 представлен сборочный чертеж узла одной оси с пятью молотками. Фиксация молотков на оси происходит с помощью стандартной детали – шплинта.

Разработан компактный и удобный в обслуживании зубчато-стержневой молоток молотковой дробилки (рисунок 8), предназначенный преимущественно для дробления и измельчения костного и мясокостного отходного сырья при производстве кормов, способствующий увеличению срока эксплуатации молотка, износостойкости рабочих поверхностей молотка и повышению производительности по измельчаемому материалу. Это достигается за счет того, что в известном молотке молотковой дробилки, имеющем пластину с отверстием для его шарнирной подвески на ось, рабочие поверхности, предлагается пластину выполнить в виде ромба с четырьмя рабочими поверхностями и четырьмя отверстиями для шарнирной подвески на ось и смены стороны изношенной рабочей поверхности зубчато-стержневого молотка с целью увеличения срока его эксплуатации, при этом рабочие поверхности

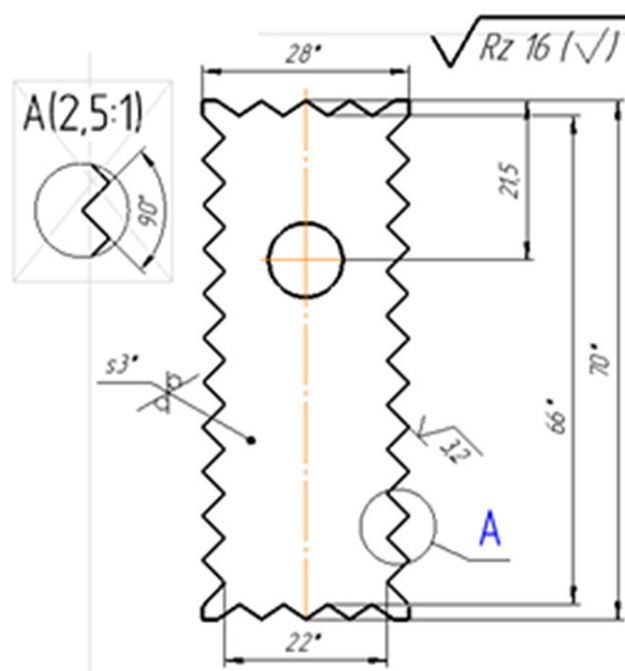


Рисунок 4 – Молоток устройства для дробления и измельчения

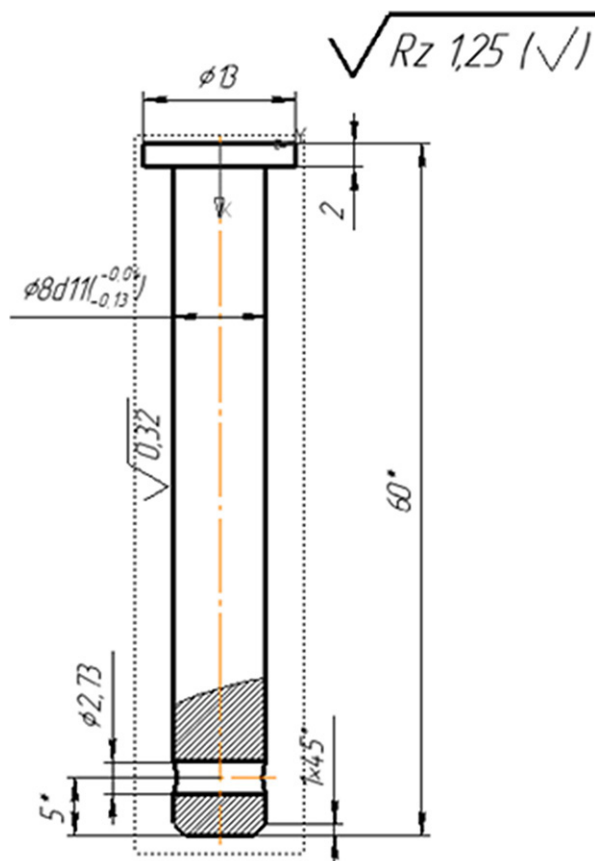


Рисунок 5 – Ось

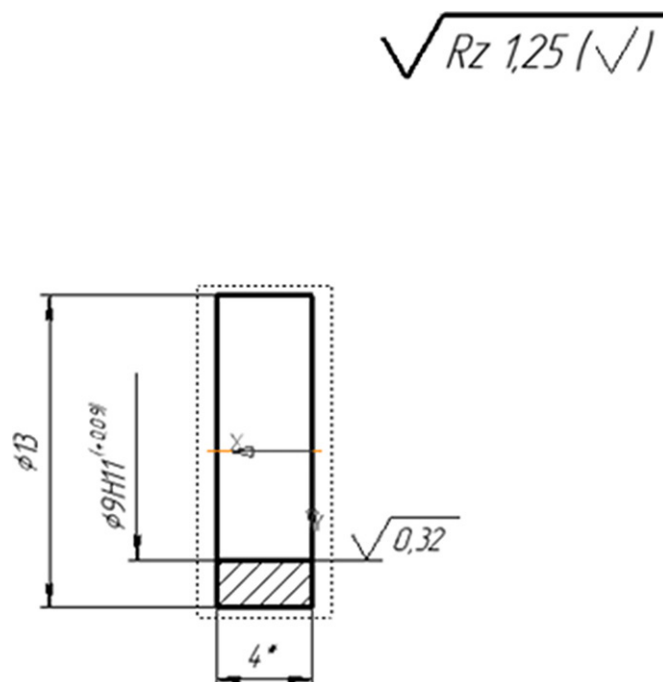
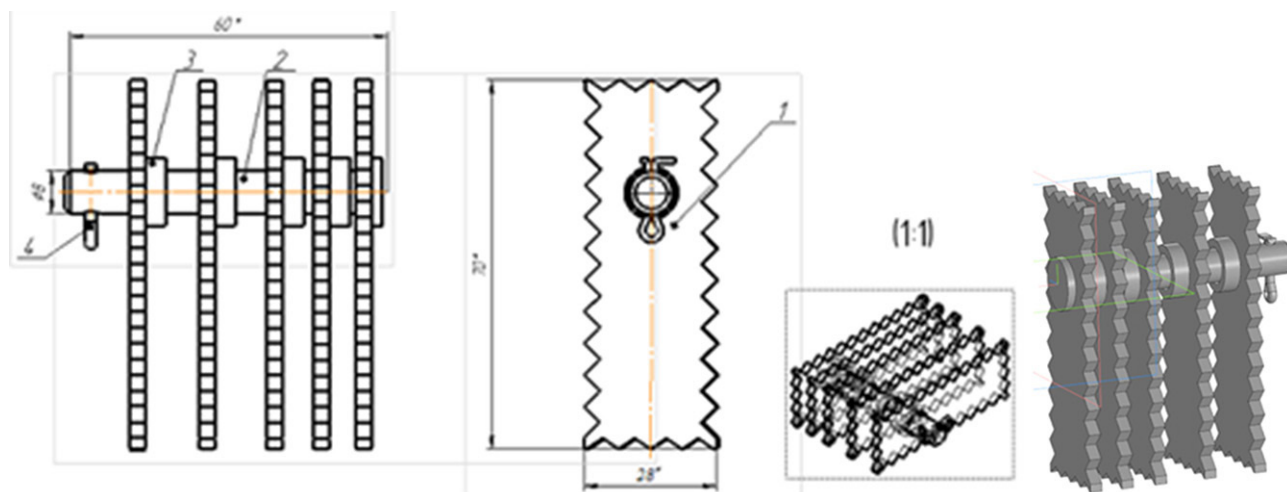


Рисунок 6 – Шайба



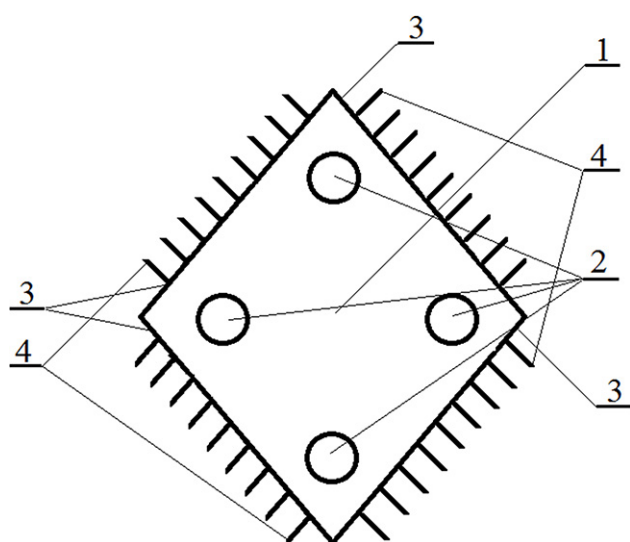
1 – молоток; 2 – ось; 3 – шайба; 4 – шплинт

Рисунок 7 – Сборочный чертеж узла одной оси с пятью молотками

молотка выполнить с твердосплавными зубцами-стержнями по четырем рабочим поверхностям ромбического зубчато-стержневого молотка с целью увеличения износостойкости рабочих поверхностей зубчато-стержневого молотка и повышения производительности по измельчаемому материалу.

Зубчато-стержневой молоток молотковой дробилки 1, выполненный в виде ромбической пластины, имеет четыре отверстия 2, рабочие

поверхности 3 по четырем поверхностям ромбического молотка 1 с твердосплавными зубцами-стержнями 4. Зубчато-стержневой молоток 1 шарнирно подвешивается в одно из отверстий 2 посредством оси 5 (рисунок 5). Рабочие поверхности 3 одной из четырех сторон зубчато-стержневого молотка 1, следует менять путем смены одного из четырех отверстий 2 для шарнирного подвешивания зубчато-стержневого молотка 1. Оригинальность зубчато-стержневого молотка



1 – молоток; 2 – отверстия; 3 – рабочие поверхности;
4 – зубцы-стержни

Рисунок 8 – Зубчато-стержневой молоток
молотковой дробилки

подтверждается патентом [10].

Выводы

Разработанные ударно-зубчатые молотки, основа которых создана с помощью теории трещинообразования в измельчаемом сырье, представляют собой перспективные конструкции, отвечающие современным реалиям времени. Следует отметить, что тенденциями в совершенствовании теории трещинообразования является все более расширяющееся взаимодействие фундаментальных знаний с прикладными исследованиями, что открывает горизонты для широкой апробации на практике.

Данная научная работа является результатом, полученным в ходе реализации проекта ИРН № АР09562082 «Создание ударно-зубчатых молотков для интенсивного измельчения кормов из отходов животного происхождения», финансируемого в рамках грантового финансирования от Комитета науки Министерства образования и науки Республики Казахстан.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Markochev, V.M. and Alymov, M.I. (2017). On the Brittle Fracture Theory By Ya. Frenkel and A.Griffith. Chebyshevskii sbornik (Чебышевский сборник), 18(3):381-393.
2. Bonet, J. and Gil, A.J. (2021). Mathematical Models of Supersonic and Intersonic Crack Propagation in Linear Elastodynamics. International Journal of Fracture, 229(1):55-75.
3. Hisao Hayakawa, and Hiroto Kuninaka (2004). Theory of the inelastic impact of elastic materials. Phase Transitions 77 (8-10):889-909.
4. Liu B., Zhang D.X., Zong L., Zhao B., Zhang Y.D., Wang G.L., Zhang H., Zhang J.B., Jiao F. (2011). Investigation on the Motion States of the Hammers while Hammer Mill Steady Running by High-speed Photography. History of Mechanical Technology and Mechanical Design 42:317.
5. Akimune Y., Akiba T., Okamoto Y., Hirotsuki N. (1994). Effect of Materials Properties on Spherical-Particle Impact Damage for Ceramics. Nippon Seramikkusu Kyokai Gakujutsu Ronbunshi – Journal of the Ceramic Society of Japan, 102(7):653-657.
6. Wang D.K., Sun L.T., Wei J.P. (2019). Microstructure evolution and fracturing mechanism of coal under thermal shock. Rock and Soil Mechanics, 40(2):529.
7. Luo H.H., Yang R.S., Wang Y.B., Yang G.L., Li C.X., An C., Zhang Y.T. (2021). Experimental Study on the Caustics of Moving Cracks and Elliptical Curvature under Impact Loading. Advances in civil engineering, Номер статьи 5524635. DOI 10.1155/2021/5524635/
8. S.L. Xu, Y.D. Jin, Z.S. Hu et al., Differential Geometry Learning Guide, University of Science and Technology of China Press, Hefei, China, 2014.
9. Исаков Р.М., Исаков А.М., Бейсебекова Д.М., Маратбеков А.Р., Абдраймов М.У. Инновационный патент Республики Казахстан на изобретение № 29946. Молоток устройства для дробления и измельчения. В02С 13/28, В02С 4/08, В02С 23/38. бюл. № 6 от 15.06.2015 г.
10. Исаков Р.М. Зубчато-стержневой молоток молотковой дробилки. Патент Республики Казахстан на полезную модель № 6470, бюл. № 39 от 01.10.2021 г.

Жарылудың теориялық зерттеулерін талдау негізінде соққы-тісті балғаларды жасау

^{1*}ИСКАКОВ Руслан Маратбекұлы, т.ғ.к., қауымдастырылған профессор, rus.iskov79@mail.ru,

¹ИСЕНОВ Сұлтанбек Сансызбайұлы, т.ғ.к., қауымдастырылған профессор, isenov_sultan@mail.ru,

¹КУБЕНТАЕВА Гүлмира Кусаиновна, аға оқытушы, gulmirakk@mail.ru,

¹ЗАЙЧКО Григорий Анатольевич, т.ғ.к., қауымдастырылған профессор, gzaichko@mail.ru,

¹С. Сейфуллин атындағы қазақ агротехникалық университеті, Қазақстан, 010011, Нұр-Сұлтан, Жеңіс даңғылы, 62,

*автор-корреспондент.

Аңдатпа. Жұмыстың мақсаты – объектілердің бөлшектерге ыдырауы мен ұсақталуына айтарлықтай әсер ететін жарылу саласындағы жаңа теориялық зерттеулерді талдау және қорытындылау. Бұл мәселені шешу жаңа өнертабыстар мен пайдалы модельдерді енгізу арқылы мүмкін болады. Зерттеу кезінде жарықтардың

өсуіне, сынғыш сынуына, бетінің жарылуына, соққы толқындарына, жанасу нүктелеріне, қиғаш соққыларға, инженерлік идеяларға, тұрақты қозғалыстарға, жұмыс жылдамдығына, жабысқақтық теорияларына, микрожарықтарға, конустық және сақиналы жарықтар теориясына көп көңіл бөлінетіні анықталды, жарықшалардың таралуы, ығысу жүктемесі, эллиптикалық жарықтар анықталды. Зерттеу нәтижелері есептік және эмпирикалық деректермен, алынған тәуелділіктер мен теңдеулермен, сызаттардың таралу бағыттарының траекториясын түсіндіретін және негіздейтін схемалық бейнелермен расталады. Көптеген зерттеулер Гриффитс, Лаплас және Фурье түрлендірулерінің теориясына негізделген. Жарылу теориясын талдау нәтижесінде бізбен жаңа техникалық шешімдерді – ұсақтау мен бөлуге арналған балға (Қазақстан Республикасының инновациялық патенті № 29946), балғалы ұсақтағыштың тісті балғасы (патент Қазақстан Республикасы № 6470) жасалынды.

Кілт сөздер: ауылшаруашылық және азық-түлік техникасы, балғалар, балғалық ұсақтыштар, соққы, жарылу.

Development of Shock-toothed Hammers Based on the Analysis of Theoretical Studies of Cracking

^{1*}ISKAKOV Ruslan, Cand. Tech. Sci., Associate Professor, rus.iskakov79@mail.ru,

¹ISENOV Sultanbek, Cand. Tech. Sci., Associate Professor, isenov_sultan@mail.ru,

¹KUBENTAEVA Gulmira, Senior Lecturer, gulmirakk@mail.ru,

¹ZAICHKO Grigory, Cand. Tech. Sci., Associate Professor, gzaichko@mail.ru,

¹S. Seifullina Kazakh Agrotechnical University, Kazakhstan, 010011, Nur-Sultan, Zhenis Avenue, 62,

*corresponding author.

Abstract. The purpose of the work is to analyze and generalize new theoretical studies in the field of cracking, which significantly affects the destruction and crushing of objects into parts. The solution to this problem is possible through the introduction of new inventions and utility models. It was revealed that in research close attention is paid to crack growth, brittle fracture, surface rupture, shock waves, contact points, oblique impact, engineering ideas, stable motion, operating speeds, viscoelasticity theories, microcracks, the theory of conical and annular cracks, crack distribution, shear load, elliptical crack. The research results are confirmed by calculated and empirical data, obtained dependencies and equations, schematic images that explain and substantiate the trajectories of the direction of propagation of cracks. Much research is based on the theory of Griffiths, Laplace and Fourier transforms. As a result of the analysis of the theories of cracking, we have developed new technical solutions – a hammer for crushing and grinding (innovative patent of the Republic of Kazakhstan No. 29946), a toothed-rod hammer of a hammer crusher (patent of the Republic of Kazakhstan No. 6470).

Keywords: agricultural and food machinery, hammers, hammer crushers, impact, cracking.

REFERENCES

1. Markochev, V.M. and Alymov, M.I. (2017). On the Brittle Fracture Theory By Ya. Frenkel and A.Griffith. Chebyshevskii sbornik (Chebyshevskii sbornik), 18(3):381-393.
2. Bonet, J. and Gil, A.J. (2021). Mathematical Models of Supersonic and Intersonic Crack Propagation in Linear Elastodynamics. International Journal of Fracture, 229(1):55-75.
3. Hisao Hayakawa, and Hiroto Kuninaka (2004). Theory of the inelastic impact of elastic materials. Phase Transitions 77 (8-10):889-909.
4. Liu B., Zhang D.X., Zong L., Zhao B., Zhang Y.D., Wang G.L., Zhang H., Zhang J.B., Jiao F. (2011). Investigation on the Motion States of the Hammers while Hammer Mill Steady Running by High-speed Photography. History of Mechanical Technology and Mechanical Design 42:317.
5. Akimune Y., Akiba T., Okamoto Y., Hiroaki N. (1994). Effect of Materials Properties on Spherical-Particle Impact Damage for Ceramics. Nippon Seramikkusu Kyokai Gakujutsu Ronbunshi – Journal of the Ceramic Society of Japan, 102(7):653-657.
6. Wang D.K., Sun L.T., Wei J.P. (2019). Microstructure evolution and fracturing mechanism of coal under thermal shock. Rock and Soil Mechanics, 40(2):529.
7. Luo H.H., Yang R.S., Wang Y.B., Yang G.L., Li C.X., An C., Zhang Y.T. (2021). Experimental Study on the Caustics of Moving Cracks and Elliptical Curvature under Impact Loading. Advances in civil engineering, Номер статьи 5524635. DOI 10.1155/2021/5524635/
8. S.L. Xu, Y.D. Jin, Z.S. Hu et al., Differential Geometry Learning Guide, University of Science and Technology of China Press, Hefei, China, 2014.
9. Iskakov R.M., Iskakov A.M., Beisebekova D.M., Maratbekov A.R., Abdraimov M.U. Innovative patent of the Republic of Kazakhstan for invention No. 29946. Hammer of the device for crushing and grinding. B02C 13/28, B02C 4/08, B02C 23/38. bul. No. 6 dated June 15, 2015.
10. Iskakov R.M. Hammer crusher rod hammer. Patent of the Republic of Kazakhstan for a useful model No. 6470, bul. No. 39 dated 01.10.2021.