

МИННО-ГЕОЛОЖКИ УНИВЕРСИТЕТ
„СВ. ИВАН РИЛСКИ” СОФИЯ
ФАКУЛТЕТ: МИННО-ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧЕН ФАКУЛТЕТ
катедра „Механизация на мините”

инж. Кристина Кънчева Илиева-Стойчева

ИЗСЛЕДВАНЕ НА ИЗНОСОУСТОЙЧИВОСТТА НА ПРОБИВЕН
ИНСТРУМЕНТ ОТ МИННАТА МЕХАНИЗАЦИЯ

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

на дисертация за присъждане на образователната и научна степен
„ДОКТОР”

ПРОФЕСИОНАЛНО НАПРАВЛЕНИЕ:
5.8.Проучване, добив и обработка на полезни изкопаеми;

Механизация на мините

научен консултант:
проф. д-р. Вяра Пожидаева

рецензенти:
проф. д.р. Матей Матеев
доц. д-р Християн Цветков.

София, 2014

Дисертационният труд съдържа 165 страници, 55 фигури, 11 таблици, 27 снимки, разпределени в 4 глави, заключение и списък на използвана литература от 58 заглавия на кирилица и латиница и 3 приложения, съдържащи 1 таблица, 1 схема и 1 програма на Wolfram Mathematica 8.0.

Дисертационният труд е обсъден на 27.05.2014 г. и е насочен за защита към МГУ „Св.Иван Рилски” София от Разширен катедрен съвет на катедра „Механизация на мините” при МГУ „Св.Иван Рилски” София със заповед на Ректора на Университета.

Докторантката работи като асистент в МГУ „Св. Иван Рилски” София, филиал гр.Кърджали и е зачислена в докторантура на самостоятелна подготовка към катедра „Механизация на мините” към МГУ „Св. Иван Рилски” София по професионално направление 5.8.Проучване, добив и обработка на полезни изкопаеми.

Изследванията в дисертационния труд са извършени в лаборатория по “Трибология” в Технически университет София и катедра „Машинознание” в МГУ „Св. Иван Рилски” София.

Защитата на дисертационния труд ще се състои на 01.10.2014 г. от 11.00 часа в лаб. 22 на МГУ „Св. Иван Рилски” София.

Дисертацията, автореферата и рецензиите на членовете на научното жури се намират в отдел „Следдипломна квалификация” на МГУ „Св. Иван Рилски” София, в сградата на Ректората, III етаж, 79 стая.

Автор: инж. Кристина Кънчева Илиева-Стойчева

Заглавие: Изследване на износоустойчивостта на пробивен инструмент от минната механизация

Тираж: 25 броя

Печат: ИК ”Св. Иван Рилски” МГУ НИС

Искрено благодаря на научната ми консултантка проф. д-р. Вяра Пожидаева за подкрепата, съдействието и съветите при разработване на дисертацията.

Благодаря и на проф. д-тн Васил Ангелов и проф. д-р Васко Тенчев за отправените критични бележки и предложения за подобряване на труда.

ОБЩА ХАРАКТЕРИСТИКА НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

Актуалност на темата

Проблемите по триенето и износването представляват интерес за съвременната наука във връзка с изследването на нови технологии за повишаване на износоустойчивостта. В последно време се дава превес на изследванията, свързани с покрития на контактни повърхности, подложени на различни видове триене и износване, за сметка на изследванията, свързани с подобряване на качеството на самите материали. В това отношение практически интерес представляват триещи се двойки, които работят на ударно натоварване.

В практиката са известни не малък брой технически решения, предвиждащи износоустойчиви покрития за различни работни процеси и условия на износване. Така например с базични електроди се наваряват стоманени детайли, работещи в условията на ударно-абразивно износване. Наваряват се кофи и зъби на земекопни машини, улеи, челюсти, износващи се плочи, миксери, винтови конвейри, износващи се части от селскостопанската техника, инструменти за ударно пробиване, релси, валове, трансмисионни части, детайли от ходовата част на верижни машини, ръбове на загребващи кофи, зъби на кофи, детайли от трошачки, детайли от вентилатори, чукове за трошене и др. В Приложение 1 на настоящата дисертация са показани 51 на брой примери на възстановени чрез покрития износени машини и елементи от минната механизация, подложени на ударно взаимодействие.

Прилаганите покрития осигуряват съединяване на части, изграждане на износени части, изграждане на слоеве с по-висока твърдост на материала и слоеве с изисквани характеристики /корозионно устойчивост, твърдост, износоустойчивост, якост, абразивоустойчивост и др./ Чрез покритията се постига възможност за възстановяване на скъпи елементи с нарушена цялост без да се заменят напълно. Възможността за бързото им нанасяне и нанасяне на място върху частите увеличава тяхната ремонтпригодност.

Изследванията по износоустойчивостта при удар са актуални в минната промишленост и са свързани с дълготрайността и работоспособността на работните органи на минната механизация. Последната е съвкупност от голямо габаритна и скъпоструваща техника и поддържането и работоспособността ѝ са не само технически, но и икономически проблем.

Обект, цел и задачи на дисертационния труд

Като реален обект от практиката за изследване е избран пробивен инструмент моноблок, произвеждан в „Монек-юг” АД, гр.Кърджали.

Цел на настоящата разработка е изследване на износоустойчивостта на пробивен инструмент от минната механизация и възможността за замяна на твърдосплавните пластини с армировка на моноблока чрез износоустойчив материал за покритие.

Така поставената цел може да бъде реализирана чрез изпълнение на следните задачи:

Анализ на съществуващите технически решения, свързани с покрития на работни инструменти в тежкото машиностроене.

Създаване на математически модел, описващ динамиката на работните процеси при работата на пробивен инструмент моноблок.

Определяне на параметрите на работната среда.

Провеждане на изследвания при различни симулационни и експериментални режими на работа и с различни материали за покрития.

Обща характеристика на дисертационния труд

Настоящият дисертационен труд е посветен на изследване на проблемите по износоустойчивостта на пробивен инструмент от минната механизация. Трудът се състои от увод, четири глави, заключение, библиография и приложения.

В **първа глава** е направен литературен обзор по проблемите на триене, износване, удар и разпространение на вълни. Разгледани са приложения в практиката на различни видове покрития и са направени изводи за възможно прилагане на покрития в инструмент от минната механизация.

Във **втора глава** е разработен математически модел за изследване на процесите на триене и износване на моноблок. Като основоположен е взет вълновият модел на Адемар Сен-Венан на надлъжен удар по прът с нехомогенни участъци при нелинейна характеристика на контактно взаимодействие с технологичната среда. Разгледано е взаимодействие на нехомогенен прът с коничен край в твърда преграда. Показано е решението на вълнов модел на надлъжен удар по прът по метода на Фурие и метода на Даламбер. Моделирано е ударно натоварване с променливи параметри с решение по метода на Фурие и резултатите от симулациите са анализирани.

В **трета глава** са дадени методиките и резултатите от експерименталните изследвания на различни образци материали и покрития за работния инструмент. Проведените опити са за абразивно износване, струйно-абразивно износване и ударно-абразивно износване. Сравняването на получените резултати от тях показва, че износоустойчивостта на материала на използваната твърдосплавна пластина в инструмента е близка по стойност с тази на предлаганото за нанасяне покритие.

Глава четвърта съдържа технико-икономически анализ на ценообразуването на инструмент по технологията на производство в „Монек юг“ АД, гр. Кърджали и същия при реализирано производство с покритие.

В **заключението** са посочени изводи от направените изследвания и са изредени приносите от разработката. Приложен е списък на публикациите по дисертационния труд, списък на използваната литература и приложения.

СЪДЪРЖАНИЕ НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

ГЛАВА I. ЛИТЕРАТУРЕН ОБЗОР

В първа глава е направен литературен обзор на съществуващите видове износване, методите за тяхното окачествяване и анализ. Приложена е схема, описваща видовете триене и износване на микро-, нано-, мезо- и макро- нива.

Особено внимание е отделено на износване при ударно взаимодействие и по-специално на ударното пробиване, приложимо за серия пробивни чукове в минната механизация. Работният процес при тях протича с предаване на импулс от бутало ударник върху инструмент бургия. В резултата на предаване на енергията в зоната на контакт породата се разрушава. Избраният реален обект за изследване моноблок се представя като прост вълновод във вълновия процес.

Разгледан е процесът на разпространение на еластични вълни в безгранична среда и тела. Въз основа на уравнението на Ламе за динамични процеси в изотропни еластични среди е изведено скаларното вълново уравнение. Частен случай на вълновото уравнение е уравнението на струна, което се прилага за прътови конструкции /каквато е пробивния инструмент моноблок/.

Анализирана е приложимостта на основните три теории при изучаване на надлъжните вълни в прът: теория на Бернули, уточнена теория на Рейли-Лав и Бишоп и теория на Миндлин-Герман.

Изводи

При така избрания обект за изследване най-подходяща за описване на вълновите работни процеси е теорията на Даниел Бернули. Взаимодействащата с моноблока среда следва да бъде моделирана по метода на Лисовски-Дворников като еластично-пластичен елемент.

За реализиране на задачите в настоящата дисертация е необходимо да се изследват различни по вид материали за покрития, подложени на различни видове триене.

ГЛАВА II. МАТЕМАТИЧЕСКИ МОДЕЛ НА ИЗСЛЕДВАНЕ НА ПРОЦЕСИТЕ НА ТРИЕНЕ И ИЗНОСВАНЕ В МОНОБЛОК

Тази глава е посветена на създаването на математически модел на изследването.

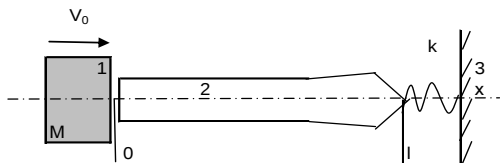
Вълновият модел на надлъжния удар описва най-адекватно динамичните процеси при централен надлъжен удар на прът. За централен надлъжен удар се счита удар, при който оста на буталото съвпада с оста на пробивния инструмент. Пробиването на дупки с пробивен инструмент /моноблок/ може да се разглежда като внедряване на плоска или криволинейна щампа в скала. С увеличаване на степента на натоварване на щампата се изменя скоростта на деформация и условно се разглеждат три вида напрегнати състояния на скалата, описващи нейното разрушаване:

1. уплътняване – затихване на деформациите при намаляването им до нула. /процесът се характеризира като повърхностно разрушаване/;
2. пределно равновесие – постоянна деформация при определено натоварване. С увеличаване на натоварването в скалата се увеличават пукнатините и възникват следващи приплъзвания /процесът се характеризира като обемно разрушаване/;
3. разрушаване – постоянно прогресивно увеличаваща се деформация /процесът се характеризира като обемно разрушаване/.

Бургиите моноблок са с най-добри показатели от енергийна и якостна гледна точка. При тях началната вълна на напрежение достига почти без изменение на формата в крайната дължина. Импулсът се разпространява с постоянна скорост и без изменение на вълната. Ударните инструменти се изчисляват с плоска вълна.

Работният инструмент има няколко участъка с различни площи на напречните сечения, включително и клинов участък, който взаимодейства с технологичната среда в процеса на работа

При моделирането се разглежда схема на удар по прът, който си взаимодейства с технологичната среда в сечението $x = l$. По хоризонталната ос x тяло 1 с маса M се движи със скорост V_0 и в момент $t=0$ нанася удар по прът 2, взаимодействащ с технологичната среда 3.



Фиг. 1.Базова схема на ударната система

Едномерното вълново уравнение е:

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} - \frac{1}{a^2} \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = 0, \quad 0 \leq x \leq l.$$

където:

$u(x,t)$ – надлъжно преместване на напречното сечение на пръта;

a – скорост на разпространение на вълната на деформация в материала на пръта;

x – координата на сечението;

t – време.

Диференциалното уравнение се допълва със съответстващи на конкретния случай начални и гранични условия.

За пробивния инструмент 2 при $t=0$ се допуска, че няма надлъжна деформация, и се намира в състояние на покой. Началните условия са:

$$u(x,0) = 0, \quad \frac{\partial u(x,0)}{\partial t} = \begin{cases} V_0, & x = 0 \\ 0, & 0 < x \leq l \end{cases}.$$

Граничните условия са:

ако $x = 0$, $\frac{\partial u(0,t)}{\partial x} < 0$ следва

$$M \frac{\partial^2 u(0,t)}{\partial t^2} = EA \frac{\partial u(0,t)}{\partial x}$$

$$V_M = \frac{\partial u(0,t)}{\partial t}$$

$$x_M = u(0,t) \quad ;$$

ако $x_M \leq u(0,t)$ следва:

$$\frac{\partial u(0,t)}{\partial x} = 0$$

$$V_M = \text{const}$$

$$x_M = x_M(t_0) + v_M(t - t_0);$$

ако $x = l$ следва:

$$u(l,t) = 0$$

$$\frac{\partial u(l,t)}{\partial t} = 0,$$

където:

X_M - координата, определяща положението на ударната маса М;

V_M - скорост на ударната маса;

t_0 - времето, в което се отделя ударната маса от ударното сечение.

Граничните условия за сечение $x=l$ между 2 и 3 определят характера на взаимодействие на инструмента с технологичната среда. Скалата е представена като еластично-пластичен елемент и условията са:

$$E.A. \frac{\partial u(l,t)}{\partial x} = k.u(l,t), \quad \text{ако } \frac{\partial u(l,t)}{\partial t} \geq 0$$
$$E.A. \frac{\partial u(l,t)}{\partial x} = 0, \quad \text{ако } \frac{\partial u(l,t)}{\partial t} < 0,$$

където:

k - коефициент на устойчивост на скалата;

E – модул на Юнг,

A – площ на допир.

След удара в сечението на пръта се формира вълна, която със скоростта на звука се разпространява по пръта до противоположния край. Отразявайки се там във вид на опънова вълна тя се разпространява обратно.

Вълната на опън, достигайки до ударното сечение, се отразява във вид на натискова вълна и отново се разпространява към противоположния край. Така процесът се повтаря.

Скоростта на разпространение на вълната е:

$$a = \sqrt{\frac{E}{\rho}}.$$

където:

ρ - плътност на материала.

Частното диференциално уравнение е от втори ред с две независими променливи (x – пространствена променлива, t – време) и е уравнение на струна. Търсената функция е $u(x,t)$. Към смесената задача за областта $0 \leq x \leq l$ и $0 \leq t$ се добавят началните и гранични условия. По метода на Фурие се търси решение на смесената задача и се прилагат няколко стъпки: разделят се променливите, решава се задачата на Щурм-Лиувил, получава се ред за $u(x,t)$ /формално решение/, изследва се реда на $u(x,t)$ за сходимост.

В изчислителния модел са използвани моноблок с базови: дължина 1200 mm с опашка 108 mm, дължина на твърдосплавната пластина 17 mm,

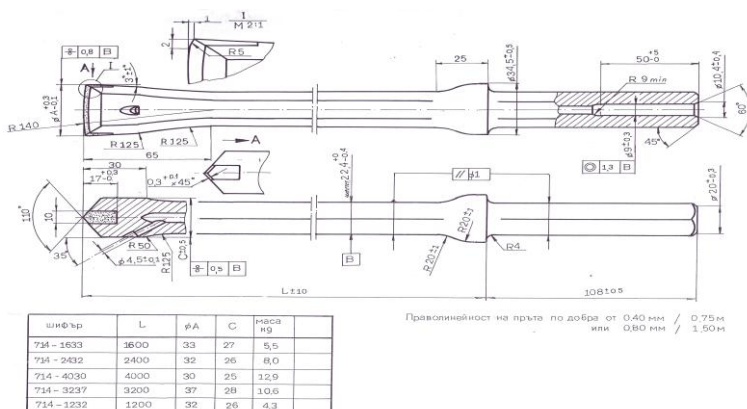
контактна площ на шампата $32 \cdot 10^{-6} \text{ mm}^2$, модул $E=2 \cdot 10^{11} \text{ N/m}^2$ и моноблок с базови: дължина 1200 mm с опашка 108 mm, дължина на покритието 5 mm, контактна площ на шампата $32 \cdot 10^{-6} \text{ mm}^2$, модул $E=2 \cdot 10^{11} \text{ N/m}^2$.

Плътността на материалите съответно е: на стоманата на моноблока $7,210 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$, на твърдосплавната пластина $13,746 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$, на покритието $7,610 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$

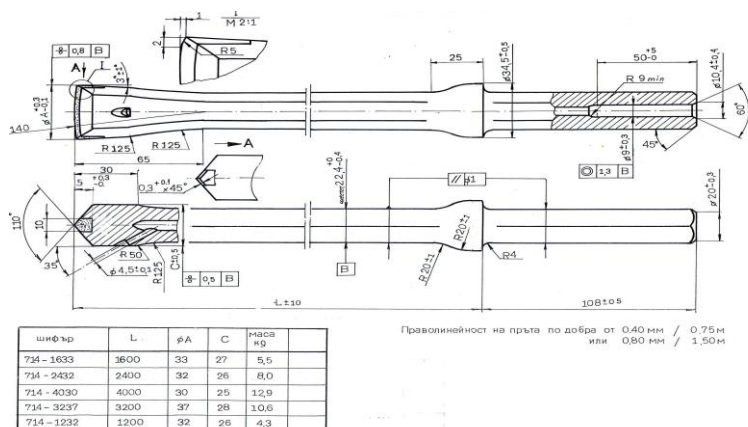
Скорости на разпространение на вълната съответно: в стоманата на моноблока 5266,81 m/s, в твърдосплавната пластина 3814,41 m/s, в покритието 5126,52 m/s.

Енергията на удара е 100 J, сумарна ударна мощност при обороти 2500 min^{-1} 4,17 kW. Силата на буталото при работен ход е 2525 N, силата на буталото при обратен ход е 1437 N. Скоростта на буталото при работен ход е 9,32 m/s, същата при обратен ход е 6,61 m/s. Продължителността на работния ход е $10,14 \cdot 10^{-3} \text{ s}$, а тази на обратния ход е $13,62 \cdot 10^{-3} \text{ s}$, продължителност на цикъла $23,76 \cdot 10^{-3} \text{ s}$.

При моделирането на съпротивлението на скалата е използван коефициент на съпротивление на скалата $k=59 \cdot 10^6 \text{ N/m}$.



Фиг.2.а – моноблок с твърдосплавна пластина



Във Wolfram Mathematica 8.0. е направен модел с променливи параметри за решаване на вълновото уравнение по метода на Фурие /Приложение 3/ Алгоритъмът на решаване е:

- постановка на задачата;
- условия с определени изисквания за гладкост на коефициентите, с което се гарантира съществуване, единственост и устойчивост на решението на задачата;
- прилагане на диференчни методи;

съставя се диферечна схема съгласно задачата, като в дефиниционната област на решението се въвежда равномерна или неравномерна мрежа от точки /т.н. шаблон/. Диференциалните оператори се апроксимират съответно с диференчни оператори върху шаблона;

- изследва се получената диференчна схема за апроксимация, сходимост и точност. От особена важност за сходимостта е локалната грешка при апроксимация както за диференциалното уравнение, така и за граничните условия;

- прилага се подходящ числен метод за решаване на получената система уравнения.

Подробно е описан алгоритъмът на решение на хиперболичното уравнение с дефинирани начални и гранични условия.

Вълновото уравнение е хиперболично и постановката на задачата е търсене на функция $u=u(x,t)$,

$$f(x,t) = \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} - a^2 \frac{\partial^2 u}{\partial x^2}, \quad 0 \leq x \leq l, \quad 0 \leq t \leq T$$

с начални условия:

$$u(x,0) = \varphi(x), \quad 0 \leq x \leq l$$

$$\frac{\partial u}{\partial t}(x,0) = \phi(x), \quad 0 \leq x \leq l$$

Граничните условия са:

$$u(0,t) = \mu_1(t), \quad 0 \leq t \leq T$$

$$u(l,t) = \mu_2(t), \quad 0 \leq t \leq T.$$

Условията за съгласуваност:

$$\varphi(0) = \mu_1(0), \quad \varphi(l) = \mu_2(0), \quad \phi(0) = \mu_1'(0), \quad \phi(l) = \mu_2'(0)$$

При $f(x,t) \equiv 0$ вълновото уравнение описва свободните трептения на еластична струна с дължина l , при $f(x,t) \neq 0$ описва принудените трептения на струна с дължина l ,

$\varphi(x)$ задава началното отклонение на струната. $\phi(x)$ задава началната скорост на струната.

Правите с уравнения $x \pm at = \text{const}$ са характеристики и през всяка точка (x,t) минават по две характеристики от семейството.

За задачата на Коши при $f(x,t) \equiv 0$

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} - a^2 \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = 0$$

се търси решение по Фурие.

Диференчната схема се прави в областта $\overline{\Omega} = [0, l] \times [0, T]$, като се въвежда мрежа $\varpi_{hr} = \varpi_h \chi \varpi_\tau$

$$\varpi_h = \left\{ x_i = ih, h = \frac{l}{n}, i = 0, 1, \dots, n \right\}$$

$$\varpi_\tau = \left\{ t_j = j\tau, \tau = \frac{T}{m}, j = 0, 1, \dots, m \right\}.$$

За апроксимация на вторите производни по t и по x при условие $u(x, t) \in C^4(\Omega)$ се прилагат:

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} \Big|_{(i,j)} = \frac{u_i^{j+1} - 2u_i^j + u_i^{j-1}}{\tau^2} - \frac{\tau^2}{12} \frac{\partial^4 u}{\partial t^4}(x_i, \eta)$$

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \Big|_{(i,j)} = \frac{u_{i+1}^j - 2u_i^j + u_{i-1}^j}{h^2} - \frac{h^2}{12} \frac{\partial^4 u}{\partial x^4}(\xi, t_j)$$

Вълновото уравнение се апроксимира във вътрешните възли на мрежата с диференчните уравнения:

$$\frac{y_i^{j+1} - 2y_i^j + y_i^{j-1}}{\tau^2} - a^2 \frac{y_{i+1}^j - 2y_i^j + y_{i-1}^j}{h^2} = f_i^j,$$

$$i = 1, 2, \dots, n-1, j = 1, 2, \dots, m-1$$

с локална грешка на апроксимация $O(h^2 + \tau^2)$.

За апроксимиране на началното условие $\frac{\partial u}{\partial t}(x, 0) = \phi(x)$, $0 \leq x \leq l$ с

локална грешка на апроксимация $O(\tau^2)$ се повишава редът на апроксимация:

$$\begin{aligned} \theta_i &= \frac{u_i^1 - u_i^0}{\tau} - \phi_i = \frac{1}{\tau} \left(u_i^0 + \tau \frac{\partial u}{\partial t}(x_i, 0) + \frac{\tau^2}{2} \frac{\partial^2 u}{\partial t^2}(x_i, 0) + O(\tau^3) - u_i^0 \right) - \phi^i = \\ &= \frac{\tau}{2} \frac{\partial^2 u}{\partial t^2}(x_i, 0) + O(\tau^2) = \frac{\tau}{2} \left(a^2 \frac{\partial^2 u}{\partial x^2}(x_i, 0) + f_i^0 \right) + O(\tau^2) = \\ &= \frac{\tau}{2} \left(a^2 \frac{u_{i+1}^0 - 2u_i^0 + u_{i-1}^0}{h^2} + O(h^2) + f_i^0 \right) + O(\tau^2). \end{aligned}$$

Диференчното уравнение апроксимира началното условие с грешка $O(\tau^2 + \tau h^2)$ и е:

$$\frac{y_i^1 - \varphi_i}{\tau} - \frac{\tau}{2} \left(a^2 \frac{\varphi_{i+1} - 2\varphi_i + \varphi_{i-1}}{h^2} + f_i^0 \right) = \varphi_i, i = 1, 2, \dots, n-1$$

Диференчната схема е явна трислойна схема по шаблон „кръст” и е:

$$\frac{y_i^{j+1} - 2y_i^j + y_i^{j-1}}{\tau^2} - a^2 \frac{y_{i+1}^j - 2y_i^j + y_{i-1}^j}{h^2} = f_i^j, \quad i = 1, 2, \dots, n-1, \\ j = 1, 2, \dots, m-1$$

$$y_i^0 = \varphi_i, \quad i = 0, 1, \dots, n$$

$$y_i^1 = \varphi_i + \frac{\tau^2 a^2}{2h^2} (\varphi_{i+1} - 2\varphi_i + \varphi_{i-1}) + \frac{\tau^2}{2} f_i^0 + \tau \phi_i, \quad i = 1, 2, \dots, n-1$$

$$y_0^j = \mu_1^j, \quad j = 1, 2, \dots, m, \quad y_n^j = \mu_2^j, \quad j = 1, 2, \dots, m.$$

Уравненията в каноничен вид са:

$$y_i^{j+1} = 2(1 - \gamma^2) y_i^j + \gamma^2 (y_{i+1}^j + y_{i-1}^j) - y_i^{j-1} + \tau^2 f_i^j$$

$$y_i^1 = (1 - \gamma^2) \varphi_i + \frac{\gamma^2}{2} (\varphi_{i+1} + \varphi_{i-1}) + \frac{\tau^2}{2} f_i^0 + \tau \phi_i, \quad \gamma = \frac{\tau a}{h}.$$

В едното уравнение условието за положителност на коефициентите не е изпълнено [-1/]. За положителност на коефициентите пред y_i^j и φ_i е необходимо:

$$\gamma = \frac{\tau a}{h} \leq 1$$

За доказване на устойчивостта на трислойната схема „кръст” в мрежовата норма $C(\varpi_{h\tau})$ не може да се използва принципът на максимума. Схемата не е монотонна.

Устойчивостта на уравнението се получава по метода на хармониките при условието $\tau \leq \frac{h}{a}$.

Мрежата се избира със спазване на условието $\tau \leq \frac{h}{a}$, за да може триъгълникът на определеност на диференциалната задача да съдържа триъгълника на определеност на диференциалната задача.

Изследването на устойчивостта по метода на хармониките е със заместване в уравнение на $y_k^j = q^j e^{ikh\theta}$

$$\frac{q^{j+1} - 2q^j + q^{j-1}}{\tau^2} e^{ikh\theta} - a^2 q^j \frac{e^{i(k+1)h\theta} - 2e^{i(k-1)h\theta}}{h^2} = 0$$

$$q^2 - 2q + 1 - \gamma^2 q (2 \cosh \theta - 2) = 0$$

$$q^2 - 2q + 4\gamma^2 \sin^2 \frac{h\theta}{2} q + 1 = 0$$

$$q^2 - 2(1 - 2\gamma^2 \sin^2 \frac{h\theta}{2})q + 1 = 0.$$

Корените на квадратното уравнение: $aq^2 + bq + c = 0$ трябва да са по модул по-малки или равни на 1 и това се спазва с $c \leq a, |b| \leq a + c$.

По първото неравенство в уравнението $c = a = 1$, по второто неравенство:

$$\left| 2 \left(1 - 2\gamma^2 \sin^2 \frac{h\theta}{2} \right) \right| \leq 2$$

$$-1 \leq 1 - 2\gamma^2 \sin^2 \frac{h\theta}{2} \leq 1$$

Неравенството $1 - 2\gamma^2 \sin^2 \frac{h\theta}{2} \leq 1$ е изпълнено за всяко γ .

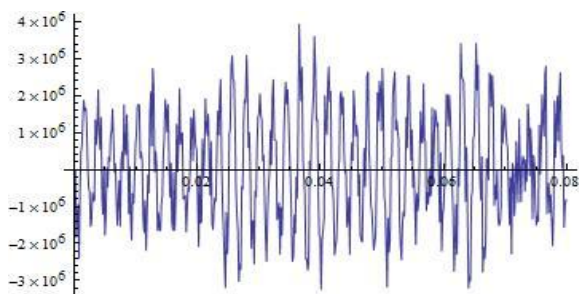
Неравенството $-1 \leq 1 - 2\gamma^2 \sin^2 \frac{h\theta}{2}$ е изпълнено при $\gamma \leq 1$.

Условието за устойчивост по начални данни в енергетична норма е $\gamma \leq 1$.

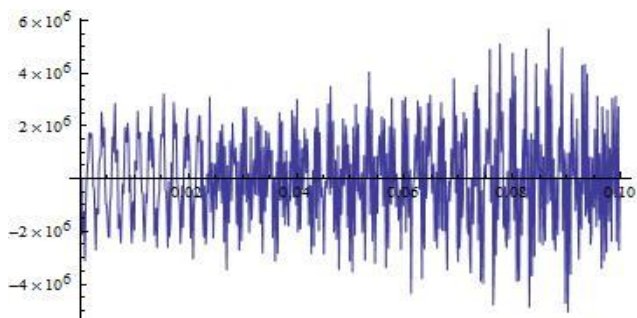
Направени са симулации на решения на вълновото уравнение по метода на Фурие с различни променливи параметри и резултатите са обобщени.



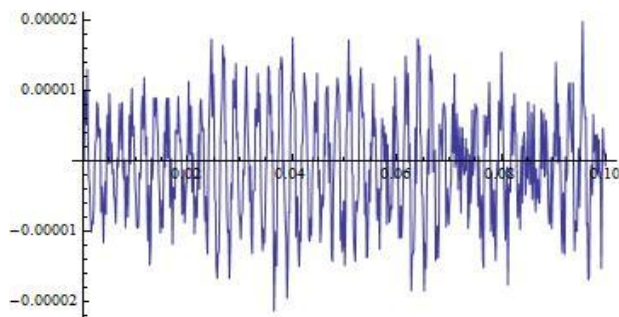
Фиг. 3. Диаграма на напрежението σ /по ординатната ос/ при дължина на инструмента x /по абсисната ос/ 1291 mm с твърдосплавна пластина 17 mm при три удара



Фиг. 4. Диаграма на напрежението σ /по ординатната ос/ при дължина на инструмента x /по абсисната ос/ 1303 mm с покритие 5 mm при три удара

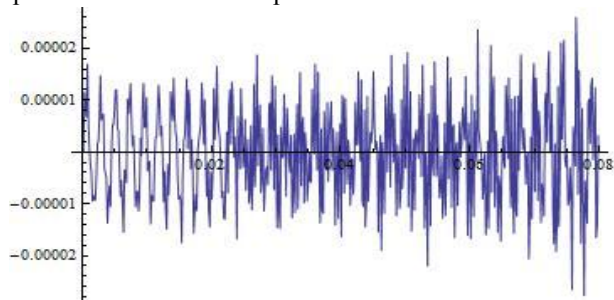


Фиг. 5. Диаграма на напрежението σ /по ординатната ос/ при дължина на инструмента x /по абсисната ос/ 1291 mm с твърдосплавна пластина 17 mm при четири удара

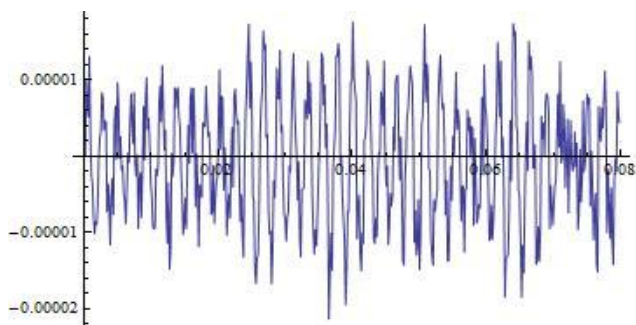


Фиг. 6. Диаграма на напрежението σ /по ординатната ос/ при дължина на инструмента x /по абсисната ос/ 1303 mm с покритие 5 mm при четири удара

Диаграми на отместване в граничната точка / ε /



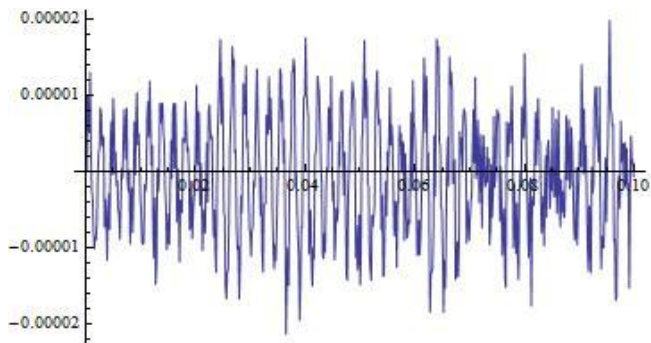
Фиг. 7. Диаграма на отместването ε /по ординатната ос/ в граничната точка при дължина x /по абсисната ос/ на инструмента 1291 mm с твърдосплавна пластина 17 mm при три удар



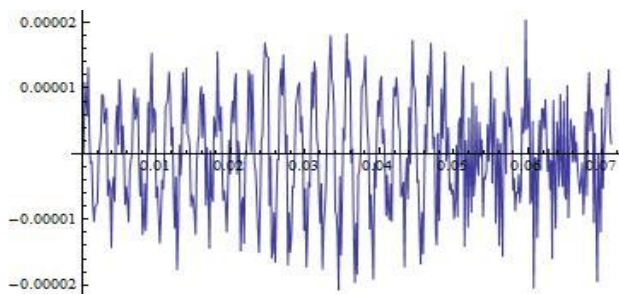
Фиг. 8. Диаграма на отместването ε /по ординатната ос/ в граничната точка при дължина x /по абсисната ос/ на инструмента 1303 mm с покритие 5 mm при три удара



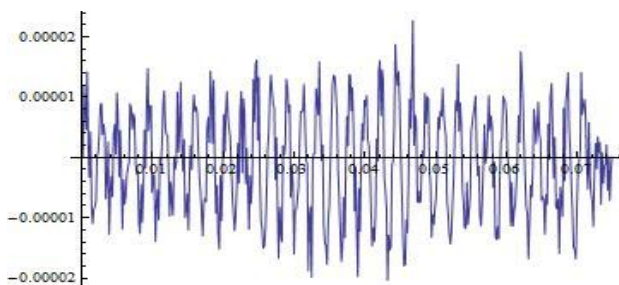
Фиг. 9. Диаграма на отместването ε /по ординатната ос/ в граничната точка при дължина x /по абсисната ос/ на инструмента 1291 mm с твърдосплавна пластина 17 mm при четири удара



Фиг. 10. Диаграма на отместването ε /по ординатната ос/ в граничната точка при дължина x /по абсисната ос/ на инструмента 1303 mm с покритие 5 mm при четири удара

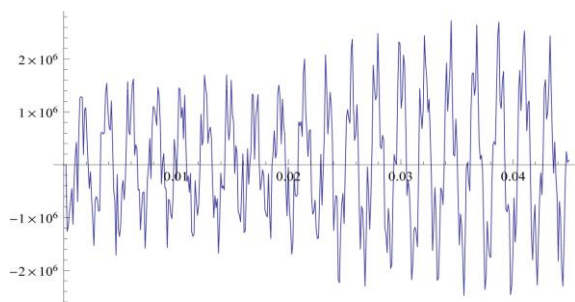


Фиг. 11. Диаграма на отместването ε /по ординатната ос/ в граничната точка при дължина x /по абсисната ос/ на инструмента 1300,5 mm и дължина на твърдосплавната пластина 7,5 mm при три удара

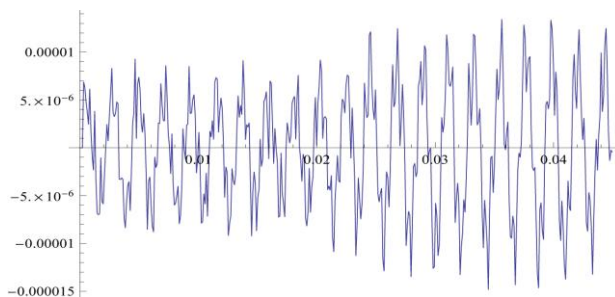


Фиг. 12. Диаграма на отместването ε /по ординатната ос/ в граничната точка при дължина x /по абсисната ос/ на инструмента 1300,5 mm и дължина на покритието 7,5 mm при три удара

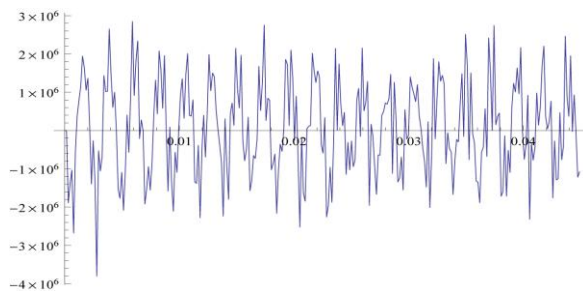
Пресмятане за инструменти с покритие 5 mm, които се различават по дължина от основния – в първия случай с 20 mm по-малка дължина на стоманата, а във втория – с 20 mm по-дълга дължина на стоманата.



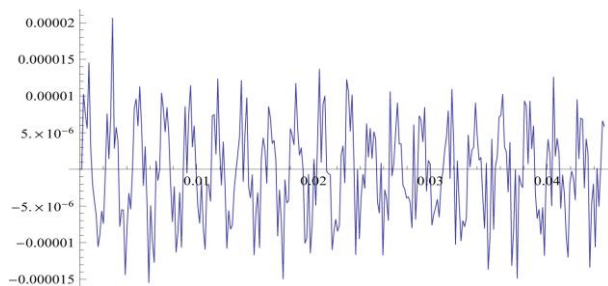
Фиг. 13. Диаграма на напреженията σ /по ординатната ос/ за инструмент с дължина x /по абсисната ос/ 1283 mm и покритие 5 mm



Фиг. 14. Диаграма на отместването ε /по ординатната ос/ на инструмент с дължина x /по абсисната ос/ 1283 mm и покритие 5 mm

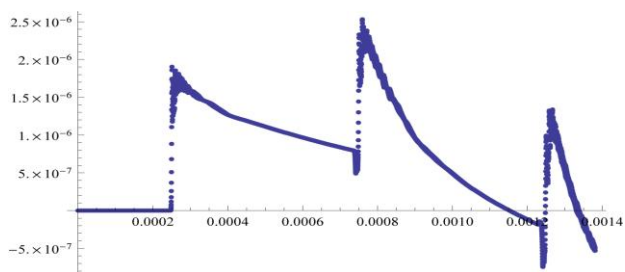


Фиг. 15. Диаграма на напрежението σ /по ординатната/ на инструмент с дължина x /по абсисната ос/ 1323 mm и покритие 5 mm

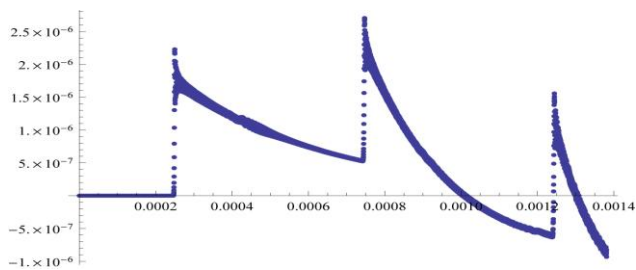


Фиг. 16. Диаграма на отместването ε /по ординатната ос/ на инструмент с дължина x /по абсисната ос/ 1323 mm и покритие 5 mm

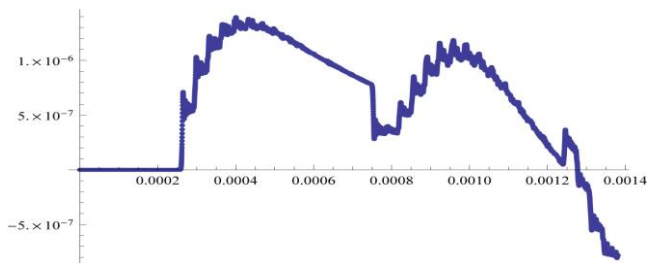
Изчисления при скала с коефициент $k=59 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$



Фиг. 17. Удар на твърдосплавна пластина със
скала с коефициент $\kappa=59 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$
/по абсисната ос – дължина на инструмента x , по ординатната ос - σ /

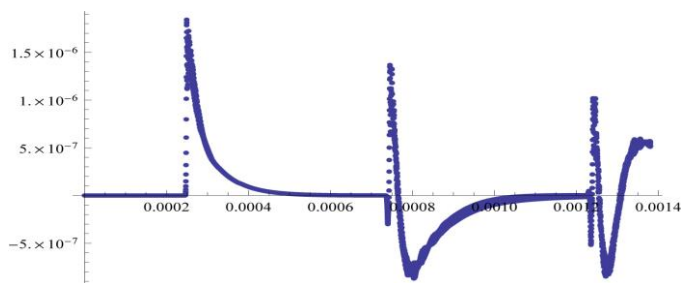


Фиг. 18. Удар на покритие със
скала с коефициент $\kappa=59 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$
/по абсисната ос – дължина на инструмента x , по ординатната ос - σ /

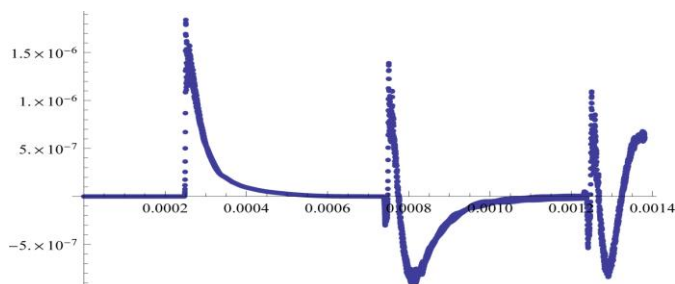


Фиг. 19. Удар на материал със скорост на вълната $a=1000 \text{ m/s}$ със
скала с коефициент $\kappa=59 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$
/по абсисната ос – дължина на инструмента x , по ординатната ос - σ /

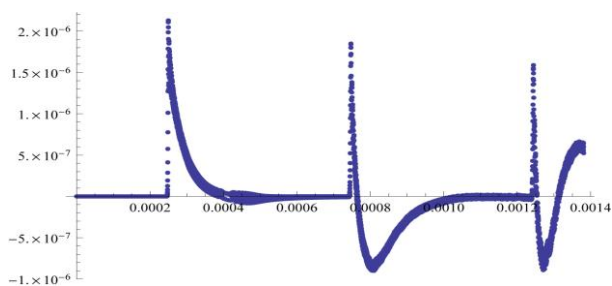
Изчисления при скала с коефициент $\kappa=59 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2$



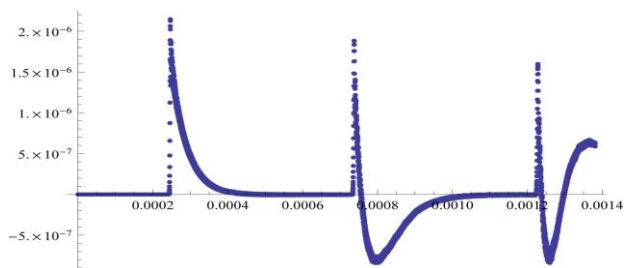
Фиг. 20. Удар на твърдосплавна пластина с дължина 10 mm със скала с коефициент $\kappa=59 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2$
/по абсисната ос – дължина на инструмента x , по ординатната ос - σ /



Фиг. 21. Удар на твърдосплавна пластина с дължина 17 mm със скала с коефициент $\kappa=59 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2$
/по абсисната ос – дължина на инструмента x , по ординатната ос - σ /

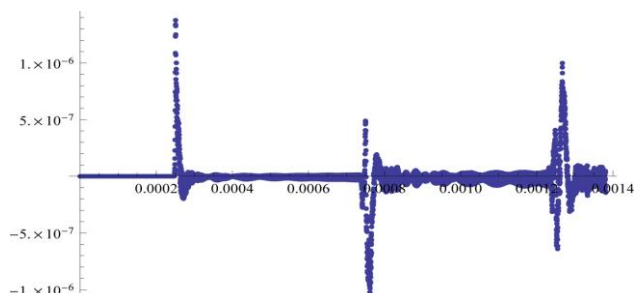


Фиг. 22. Удар на покритие с дължина 17 mm със скала с коефициент $\kappa=59 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2$
/по абсисната ос – дължина на инструмента x , по ординатната ос - σ /

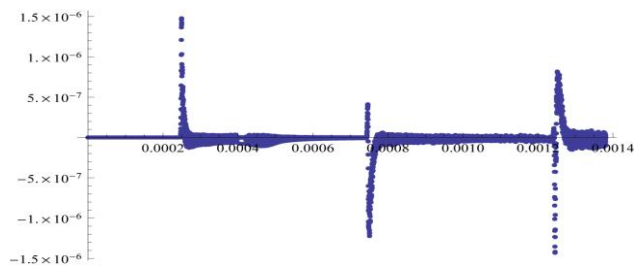


Фиг. 23. Удар на стомана на моноблок с дължина 17 mm със скала с коефициент $\kappa=59.10^6 \text{ N/m}^2$
/по абсисната ос – дължина на инструмента x , по ординатната ос - σ /

Изчисления при скала с коефициент $\kappa=59.10^7 \text{ N/m}^2$



Фиг. 24. Удар на твърдосплавна пластина със скала с коефициент $\kappa=59.10^7 \text{ N/m}^2$
/по абсисната ос – дължина на инструмента x , по ординатната ос - σ /



Фиг. 25. Удар на покритие със скала с коефициент $\kappa=59.10^7 \text{ N/m}^2$
/по абсисната ос – дължина на инструмента x , по ординатната ос - σ /

Изводи

От разгледаните методи на решение на вълнов модел на надлъжен удар по прът по метода на Фурие и метода на Даламбер е избран като по-

подходящ метода на Фурие и по него е предложено решение за конкретния обект.

От анализ на физическите процеси е установено приоритетно ударно импулсно взаимодействие между ударника, моноблока и скалата, на база на което е разработена функционална схема, дефинираща връзките между отделните елементи.

Въз основа на съставената функционална схема са определени входните и граничните параметри за анализ на модела.

Функционалната схема е моделирана математически с програма на Wolfram Mathematica 8.0.

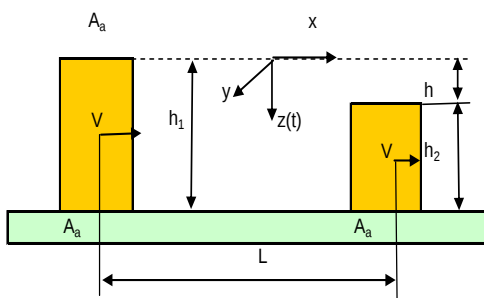
С помощта на математическия модел са направени симулации на вълновия процес, от които се вижда, че инструментът с покритие притежава по-голяма еластичност и предаваната енергията на удара е по-голяма в сравнение с инструмент с твърдосплавна пластина.

ГЛАВА III. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ ИЗСЛЕДВАНИЯ И РЕЗУЛТАТИ

В трета глава са представени методи и резултати от експериментални изследвания на различни образци от материали за евентуални покрития на работния инструмент моноблок. Проведени са опити за абразивно, струйно-абразивно и ударно-абразивно износване.

Процесът на износване може да бъде окачествен с помощта на линейни, повърхностни и обемни параметри. Показатели за оценка на износване са износената маса, интензивността на износване и абсолютната износоустойчивост.

Масовото износване представлява разрушена маса от повърхностния слой за определен път на триене /или време/.



Фиг. 26. Схема на износването

Износената маса е

$$m = \rho V = \rho A_a h$$

където

ρ - плътност на материала

V - износен обем

A_a - номинална контактна площ

h - износен слой

$$h = \frac{m}{\rho A_a}$$

Интензивност на износването i представлява разрушената дебелина на материала за единица път на триене. Величината е бездименсионна величина

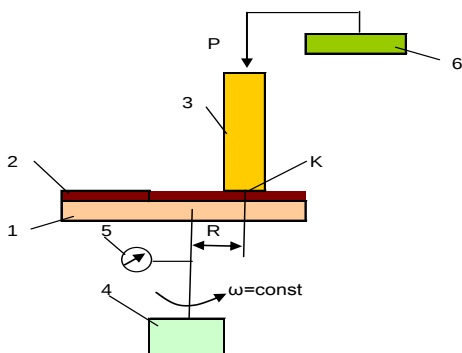
$$i = \frac{h}{L} = \frac{m}{\rho A_a L} .$$

Абсолютната износоустойчивост е бездименсионна величина и е реципрочната стойност на интензивността на износване

$$I = \frac{1}{i} = \frac{\rho A_a L}{m} .$$

Методика и устройство на опита за абразивно износване

Устройството е представено на фиг. 27.



Фиг. 27. Схема на устройството за изследване
на износване при сухо триене по закрепен абразив

Методиката се състои в следното: изследваният образец 3 се монтира неподвижно със специално приспособление в натоварващата глава 6, като челната му повърхнина К контактува с абразивната повърхнина 2 на противотялото 1 /хоризонтален диск/. Централното нормално натоварване Р се предава на образца чрез сферичен накрайник като се задава автоматично с лостова система. Почистването на контактната зона от фини частици от износването се осъществява чрез засмукване от вакуумпомпа 5. Изменението на оборотите на въртене на диска е от управляващ блок 4. Регулира се и разстоянието R от центъра на контактната площадка до оста на въртене на диска.

Пътят на триене е

$$L = 2\pi RN,$$

където

N – оборотите на въртене на диска

Номиналното контактно налягане е

$$p_a = \frac{P}{A_a}.$$

Опитът се провежда при следните параметри: натоварване 1 kg, абразив - шкурка № E-28-P80, радиус R.=40 mm

Отчитането на масата на образците е с електронна везна WPS180/C/2 с точност до 0,1 mg.

Номиналното контактно налягане на уреда върху образците, пресметнато по геометрична площ е

$$p_a = \frac{P}{A_a} = \frac{g.m}{A_a} = \frac{9,81.2,05}{2,56} = 7,855 N/cm^2.$$

Опитни образци:

1- стомана Sanbar20, използвана за моноблок – химически състав C 0,97 %, Si 0,24 %, Mn 0,27 %, Cr 1,0 %, Mo 0,22 %, твърдост 40 HRC,

2- сравнителна стомана 40X,

3- твърдосплавна пластина, използвана в моноблок,

4 – твърдосплавна пластина за стругарски нож,

5 – покритие с електрод Lincoln Hardfacing 2008 – химически състав C 4,2%, Si 2,7 %, Cr 18 %, Mo 8,5 %, Nb 9 %, W 7%, твърдост 63 HRC

6 – образец ЕН 350 – химически състав на стоманата – С 0,20%, Si 1.00 %, Mn 1.60 %, Cr 1.80 %, твърдост 279 НВ

7 – образец ЕН 550 – химически състав на стоманата – С 0,50 %, Si 2,40 %, Mn 0,40 %, Cr 9 %, твърдост 60 HRC

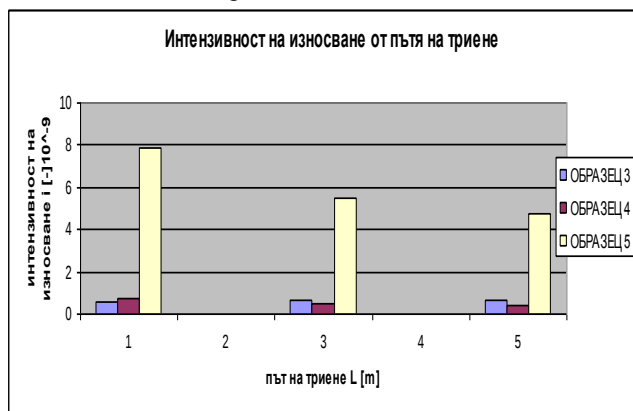
8 – образец ЕН 600 - химически състав на стоманата – С 0,58 %, Si 2,50 %, Mn 0,30 %, Cr 9,5 %, твърдост 61 HRC

Таблица 1 Образци

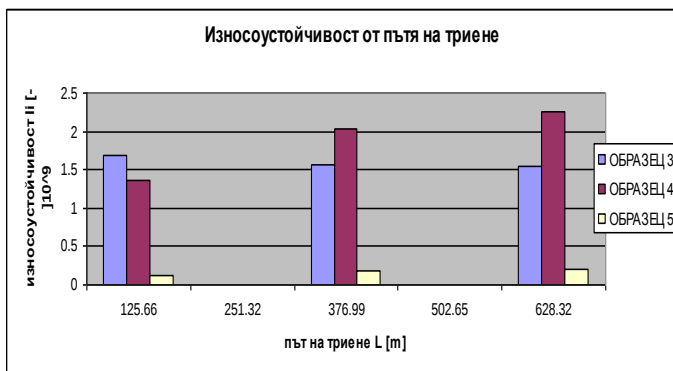
образец	наименование на образеца	номинална площ Aa [cm ²]	номинална площ Aa[m ²]	плътност ρ[g/cm ³]
1	стомана на моноблок	2.8396856	$2.8397 \cdot 10^{-4}$	7.210
2	сравнителна стомана 40X	2.8396856	$2.8397 \cdot 10^{-4}$	5.604
3	твърдосплавна пластина моноблок	1.9600000	$1.96 \cdot 10^{-4}$	13.748
4	твърдосплавна пластина	2.5600000	$2.56 \cdot 10^{-4}$	12.642
5	покритие Lincln Hardfacing2008	1.3225000	$1.3225 \cdot 10^{-4}$	7.610
6	ЕН350	3.2400000	$3.24 \cdot 10^{-4}$	7.104
7	ЕН550	2.5600000	$2.56 \cdot 10^{-4}$	5.009
8	ЕН600	3.2400000	$3.24 \cdot 10^{-4}$	7.800

Образците могат да се групират в две сродни групи – абразивно неизносоустойчиви и абразивно износоустойчиви. Към групата на абразивно неизносоустойчивите принадлежат образци 1, 2, 6, 7, 8, към абразивно износоустойчивите принадлежат образци 3, 4, 5.

Диаграма 1. Зависимост на скоростта на линейно износване от пътя на триене



Диаграма 2. Зависимост на износоустойчивостта от пътя на триене



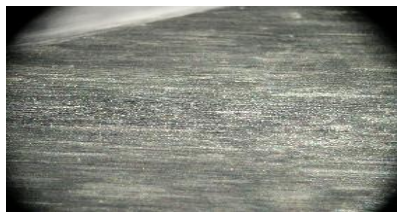
Изследваните осем материала са показани със снимки в дисертацията под микроскоп с увеличение съответно 0,67: ширина 3,5 cm на височина 2,5 cm; увеличение 2,5: ширина 1 cm на височина 7 mm; увеличение 4: ширина 7 mm на височина 5 mm. са приложени. От изследванията най-подходящи са материалите на твърдостплавната пластина и електродното покритие Lincoln Hardfacing 2008, показани на следващите фигури:



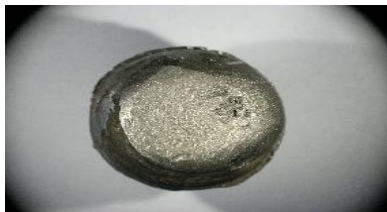
Снимка 1 – Образец 3 с увеличение 0,67



Снимка 2 – Образец 3 с увеличение 2,5



Снимка 3 – Образец 3 с увеличение 4



Снимка 4 – Образец 5 с увеличение 0,67



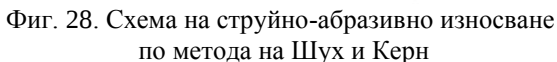
Снимка 5 – Образец 5 с увеличение 2,5



Снимка 6 – Образец 5 с увеличение 4,

**Методика и устройство на опита за струйно-абразивно износване
с абразивен пясък /модифициран метод на Шух и Керн/**

На фиг. 28 е показана схемата на струйно-абразивното износване по метода на Шух и Керн. Абразивът се подава от контейнера с абразив 1 през дюза с диаметър 2 mm. Съвместно с него през дъговидна тръба 2 със закръгление 80 mm се подава въздух. Вътрешната тръба 3 е с външен диаметър $4 \pm 0,25$ mm и вътрешен диаметър 2,5 mm. Смесената струя се подава по тръба 4 с външен диаметър 8,5 mm и вътрешен диаметър $6,5 \pm 0,10$ mm към хоризонтално разположен образец 5.



Опитът се провежда при следните параметри: постоянно налягане на въздуха $p = const = 10^5 Pa$, хоризонтално разположени опитни образци, спрямо подаваната струя, абразив – черен корунд с диаметър на частиците

$d_a = 500 \mu m$, масов дебит на абразивните частици за 1 min
 $\dot{m}_a = 166,7 g / min$, продължителност 6 min, среден разход на абразивен материал за 6 min 780 g.

Отчитането на масата на образците е с електронна везна WPS180/C/2 с точност до 0,1 mg.

➤ Ерозионно износване

Ерозионно износване

$$\Delta m = m(N=0) - m(N_i).$$

Скорост на ерозионното износване

$$\frac{d\Delta m}{dt} = \dot{m}.$$

Интензивност по ерозионно износване

$$i_e = \frac{\dot{m}}{\dot{m}_a}.$$

Износоустойчивост по ерозионно износване

$$I_e = \frac{1}{i_e}.$$

На ерозионно износване са подложени опитни образци

4 – твърдосплавна пластина

5 – електродно покритие Lincoln Hardfacing2008

6 – EH350

7 – EH550

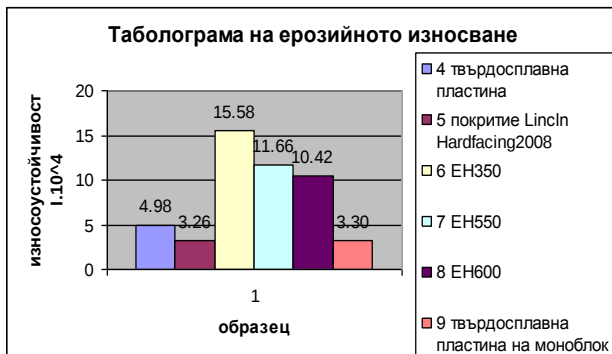
8 – EH600

9 – твърдосплавна пластина от моноблок /съответстваща на образец 3 от опитите за абразивно износване/

Таблица 2. Образци

образец	наименование на образца	маса преди износването m [g]	маса след износването m [g]	износване Δm [g]	скорост на износване m [mg/min]	интензивност на ерозия ie	износоустойчивост I
4	твърдосплавна пластина	13.8516	13.8315	0.0201	3.35	$0.200 \cdot 10^{-4}$	$4.98 \cdot 10^4$
5	покритие LincIn Hardfacing2008	39.8473	39.8166	0.0307	5.12	$0.310 \cdot 10^{-4}$	$3.26 \cdot 10^4$
6	EN350	32.7761	32.7697	0.0064	1.07	$0.060 \cdot 10^{-4}$	$15.58 \cdot 10^4$
7	EN550	42.0556	42.0470	0.0086	1.43	$0.090 \cdot 10^{-4}$	$11.66 \cdot 10^4$
8	EN600	41.5854	41.5758	0.0096	1.60	$0.100 \cdot 10^{-4}$	$10.42 \cdot 10^4$
9	твърдосплавна пластина на моноблок	53.2367	53.2064	0.3030	5.05	$0.300 \cdot 10^{-4}$	$3.30 \cdot 10^4$

Диаграма 3. Таболограма на ерозионното износване

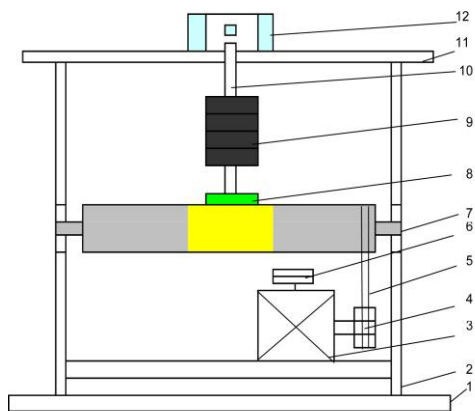


Методика и устройство на опита за ударно-абразивно износване

Съществената разлика между абразивното износване и ударно-абразивното износване е, че при абразивното износване се получават следи по посока на въздействието на абразива, докато при ударно-абразивното износване липсват насочени задириания.

За нуждите на дисертацията е разработен специален стенд за изследване на образците, подложени на ударно-абразивно износване. Опитите са проведени в катедра „Машинознание“ в МГУ „Св. Иван Рилски“ София.

Схема на опитната постановка за ударно-абразивно износване е показана на фиг. 29, а снимка на стенда е показана на сн. 7.



Фиг. 29. Схема на стенд за ударно-абразивно износване



Сн. 7. Стенд за ударно-абразивно износване

Стендът представлява метална конструкция, състояща се от носещи греди 2, на които е монтирана ролка 7 с абразивно покритие под зоната на образца и хоризонтална гредка 11, върху която е монтиран електромагнит 12. Изследваният образец 8 е закрепен неподвижно към захващащото приспособление на прът 10. Върху подложения на изследване образец се създава натоварване с помощта на тежести 9 и ударни импулси, създавани с електромагнит 12. На ролката 7 се предава въртящ момент от двигателя 3 чрез ремъчна шайба 4 и ремък 5. Образецът 8 се трие в абразива на въртящата се ролка 7 и успоредно с това му се предава ударен импулс от електромагнита 12 посредством пръта 10. Предаваният на образца удар е централен с ъглово отклонение до 5^0 .

Енергията на удара по образца може да варира в диапазон от 3 до 30 J, което се постига с набор от различни по мощност електромагнити.

Опитите са проведени при изпитания с енергия на удара 4.9 J и скорост на удар 1 m/s с честота на ударите 50 Hz и абразив - шкурка № E-28-P80.

Отчитането на масата на образците е с електронна везна WPS180/C/2 с точност до 0.1 mg.

Изпитанията са проведени при еднакви за образците условия /време на изпитване, енергия на удара и физически обем на образца/.

Методика на изчисляване на ударно-абразивното износване

Методиката на изчисляване на ударно-абразивно износване включва определяне на следните параметри: следна загуба на тегло и относителна износоустойчивост.

Средната загуба на тегло на образците от изследвания материал се определя по формулата:

$$g_u = \frac{\sum_{i=1}^3 g_{ui}}{3}$$

където:

g_{ui} - маса на изследвания материал при отделните опити, [g],

Относителната износоустойчивост на изследвания материал се определя по формулата:

$$i = \frac{\rho_u}{g_u} \cdot V_e$$

където:

V_e - обем на изследвания материал, [cm³],

ρ_u - плътност на изследвания материал, [g/cm³],

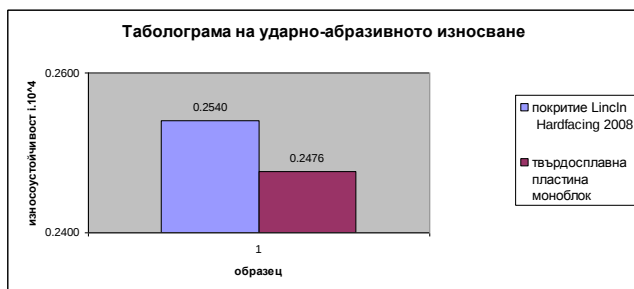
Изследваните образци са: 1 – електродно покритие Lincoln Hardfacing 2008 и 2 – твърдосплавна пластина моноблок.

Таблица 3. Образци

образец	наименование	плътност [g/sm3]	обем [sm3]	опит	маса преди удара [g]	маса след удара [g]	загуба в масата [g]	следна загуба в масата [g]	изно- соустой- чивост i
1	покрите Lincln Hardfacing 2008	7.61	5.44	1	41.4510	41.4350	0.0160	0.0163	0.2540.10 ⁻⁴
				2	41.4349	41.4183	0.0166		
				3	41.4182	41.4018	0.0164		
2	твърдосплавна пластина моноблок	13.748	5.44	1	74.8794	74.8491	0.0303	0.3020	0.2476.10 ⁻⁴
				2	74.8491	74.8190	0.0301		
				3	74.8191	74.7891	0.0300		

Резултатите са показани в таболограма на ударно-абразивното износване, от която се вижда, че относителната износоустойчивост на двата изследвани материала е сходна.

Диаграма 9. Таболограма на ударно-абразивното износване



Законът на износването изразява зависимостта на скоростта на износване от контактното напрежение, скоростта на контакта, микрогеометричните характеристики на контактните повърхности, фрикционните параметри на контакта, температурата и др. В общ вид законът се дава с изза:

$$\frac{\partial w}{\partial t} = F(\sigma, V)$$

В контактните задачи с отчитане на изменението на формата на повърхността при износване се допуска предположението за съизмеримост на износването с нормалните еластични премествания на контактните тела.

Работната контактна площ на твърдосплавната пластина е:

$$S_1 = 2 * 0.032 * 0.0061 = 390.65.10^{-6} m^2$$

Работната контактна площ на покритието е:

$$S_2 = 2 * 0.032 * 0.01587 = 1015.68 \cdot 10^{-6} m^2$$

Допустимите стойности на напрежението на материалите са съответно за твърдосплавната пластина и покритието:

$$\sigma_{k \text{ тв. пластина}} = 1618 MN / m^2$$

$$\sigma_{k \text{ покритие}} = 1000 MN / m^2$$

Критичните стойности на силите за твърдосплавната пластина и покритието са съответно:

$$F_{\text{тв. пластина}} = S_1 \cdot \sigma_{k \text{ тв. пластина}} = 390,65 \cdot 10^{-6} \cdot 1618 \cdot 10^6 = 632.072 \cdot 10^3 N$$

$$F_{\text{покритие}} = S_2 \cdot \sigma_{k \text{ покритие}} = 1015.68 \cdot 10^{-6} \cdot 1000 \cdot 10^6 = 1015.68 \cdot 10^3 N$$

За ударно-абразивното износване критичните площи на износване на материала са съответно за твърдосплавната пластина и покритието:

$$S_{\text{тв. пластина}} = \frac{F_{\text{тв. пластина}}}{\sigma_{k \text{ тв. пластина}}} = \frac{632.072 \cdot 10^3}{1618 \cdot 10^6} = 3.91 \cdot 10^{-4} m^2$$

$$S_{\text{покритие}} = \frac{F_{\text{тв. покритие}}}{\sigma_{k \text{ покритие}}} = \frac{1015.68 \cdot 10^3}{1000 \cdot 10^6} = 1.12 \cdot 10^{-3} m^2$$

Времето, за което ще се износят напълно твърдосплавната пластина и покритието е:

$$t_{\text{тв. пластина}} = \frac{\rho_{\text{тв. пластина}} \cdot h \cdot S_{\text{тв. пластина}}}{V_{\text{изн. тв. пластина}}} = \frac{13,746 \cdot 10^3 \cdot 0,0061 \cdot 3,91 \cdot 10^{-4}}{5.05 \cdot 1,67 \cdot 10^{-8}} = 388754 s$$

$$t_{\text{покритие}} = \frac{\rho_{\text{покритие}} \cdot h \cdot S_{\text{покритие}}}{V_{\text{покритие}_a}} = \frac{7,620 \cdot 10^3 \cdot 0,005 \cdot 1,12 \cdot 10^{-3}}{5.12 \cdot 1,67 \cdot 10^{-8}} = 498409 s$$

От теорията на удара след изразяване на дълбочината на проникване чрез енергията се получава:

$$h = \frac{2.A.}{h.2.\sigma_{om}.d.(tg(\alpha/2) + \mu).\eta} .$$

След преобразуване:

$$h = \sqrt{\frac{A.}{\sigma_{om}.d.(tg(\alpha/2) + \mu).\eta}}$$

Напрежението на едноосно срязване на скали, изразено чрез коефициента на Протодяконов f , в MN/m^2 е:

$$\sigma_g = 10.f .$$

Напрежението на смачкване е:

$$\sigma_{om} = (2 \div 3)\sigma_g .$$

За скали с коефициенти на Протодяконов f в границите от 10 до 20 напрежението на смачкване σ_{om} е представено в колона 2 на Таблица 11:

Дълбочината на внедряване в метри се определя по формула:

$$h^f = \sqrt{\frac{A.}{\sigma_{om}.d.(tg(\alpha/2) + \mu).\eta}} = \sqrt{\frac{100}{\sigma_{om}.0,032.(tg\frac{110}{2} + 0,3).1,2}}$$

и е резултатите са представени в колона 3 в Таблица 11.

Теоретичната скорост на пробиване в m/s по е пресметната по формула:

$$V = h.n_1 = h.\frac{2500}{60} = h.41,667 .$$

Резултатите са показани в колона 4 в Таблица 11.

Работният ресурс на пробивния инструмент моноблок се изчерпва при достигане на дължина на пробиване около 50 m. По формула е определено необходимото време за изчерпване на ресурса на моноблока при различна твърдост на скалите, която определя различни стойности на внедряване и скорост на пробиване

$$t^f = \frac{L}{V_1} = \frac{50}{V}.$$

Резултатите са представени в колона 5 на Таблица 11.

Интензивността на износване на изследваните материали може да бъде определена като функция на отношението между скоростта на износване на съответния материал и скоростта на пробиване.

$$j_e = \frac{V_{изн.}}{V_{пр}}$$

За твърдосплавната пластина в kg/m e:

$$j_e = \frac{V_{изн.}}{V_{пр}} = \frac{5,05.1,67.10^{-8}}{V_{пр}}.$$

За покритието в kg/m e:

$$j_e = \frac{V_{изн.}}{V_{пр}} = \frac{5,12.1,67.10^{-8}}{V_{пр}}$$

В Таблица 4 са представени числените стойности на всички последователно пресметнати величини по представената методика.

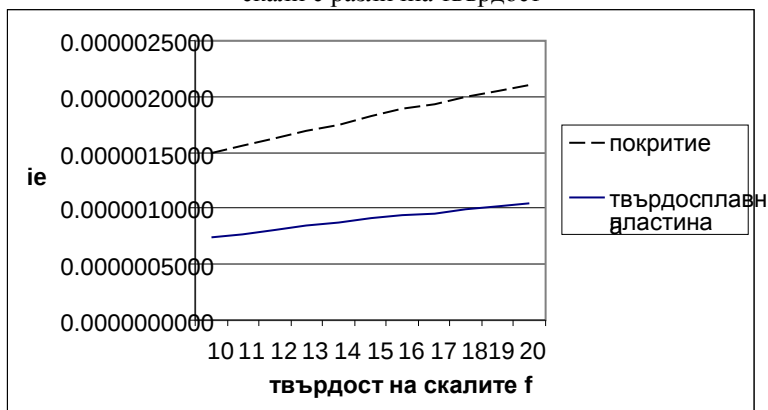
Таблица 4

f -	σ_{sm} MN/m ²	h^f m	v^f m/s	t^f s	твърдославна пластина $i_e = V_{izn}/V_{prob}$ kg/m	покрытие $i_e = V_{izn}/V_{prob}$ kg/m
1	2	3	4	5	6	7
10	200	0.002745	0.114	438.60	0.0000007398	0.0000007500
11	220	0.002617	0.109	458.72	0.0000007737	0.0000007844
12	240	0.002506	0.104	480.77	0.0000008109	0.0000008222
13	260	0.002407	0.100	500.00	0.0000008434	0.0000008550
14	280	0.00232	0.097	515.46	0.0000008694	0.0000008815
15	300	0.002241	0.093	537.63	0.0000009068	0.0000009194
16	320	0.00217	0.090	555.56	0.0000009371	0.0000009500
17	340	0.002105	0.088	568.18	0.0000009584	0.0000009716
18	360	0.002046	0.085	588.24	0.0000009922	0.0000010059
19	380	0.001991	0.083	602.41	0.0000010161	0.0000010302
20	400	0.001941	0.081	617.28	0.0000010412	0.0000010556

Резултатите от Таблица 4 са визуализирани посредством сравнителна диаграма на интензивността на износване между твърдославната пластина и покритието и чрез снимков материал.

Сравнителна диаграма между твърдославната пластина и покритието е представена на диаграма 10.

Диаграма 10. Зависимост на интензивността на износване спрямо серия от скали с различна твърдост



Изводи

В експерименталната част са разгледани съвременни покрития, които намират приложение в практиката.

Направени са изследвания на абразивно износване, струйно-абразивно износване и ударно-абразивно износване и като резултат са получени близки стойности на параметрите на износоустойчивостта между съществуващата твърдосплавна пластина и електродно покритие Lincoln Hardfacing 2008.

Направен е сравнителен анализ на експерименталните резултати със съществуващи технологии на повърхностни обработки и покрития.

В резултат на проведените изследвания може да се направи вариантното решение за конструкция на моноблок и замяна на твърдосплавната пластина с материал с високи стойности на износоустойчивост и покрития на контактната повърхност на моноблока.

ГЛАВА IV. ТЕХНИКО-ИКОНОМИЧЕСКИ АНАЛИЗ

Глава четвърта съдържа икономически анализ на ценообразуването на един брой инструмент по технологията на производство в „Монек юг” АД, Кърджали и съпоставянето му с производството на инструмент с покритие.

Представени са операциите от технологията на съществуващото производство на пробивния инструмент и е показан пряк метод на ценообразуване.

Изводи

Към момента на сравняване на цените между моноблок с твърдосплавна пластина и моноблок с покритие анализът показва приблизително два пъти по-евтини материали за инструмент с покритие.

Икономически ефект има и в намаляването на коефициента, отчитащ разхода за енергия, тъй като липсват вибрационното почистване на твърдосплавната пластина и операцията по запояване в електрическата пещ.

В процеса на работа на инструмент с покритие в практиката икономически ефект би се получил и от възможността за ремонт на място и удължаване на дълготрайността на работа.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

От направените изследвания в съответствие с целта и задачите на дисертационния труд може да се твърди, че съществува възможност за оптимизация при избора на материал за изработването на пробивни инструменти.

Като оптимизационни фактори следва да бъдат отчетени конкретните условия на работната среда (твърдост и податливост на скалите), както и качествените характеристики на покритията. Подходящият материал следва да се съобрази с конкретните условия на работа както и да се експериментира в реална работна среда.

Направените изследвания създават възможност за разработване на вариантно решение за конструкция на моноблок, включващо замяна на твърдосплавната пластина с армиране на моноблока с материал, предназначен за износоустойчиво покритие.

НАУЧНО-ПРИЛОЖНИ ПРИНОСИ

Извършено е проучване за използваните в практиката методи за повишаване на износоустойчивостта на работните органи на различни видове елементи и машини от минната механизация, от което е видно, че в практиката все по-често се използват износоустойчиви покрития, които заменят скъпи специални материали.

Установено, е че в голям процент от известните методи за подобряване на износоустойчивостта се прилагат различни видове материали за покрития с цел повишаване на дълготрайността на работа и намаляване на разходите.

На базата на математически модел с решение по метода на Фурие е предложено решение, илюстриращо физическите процеси при работата на пробивен инструмент моноблок.

Разработена е функционална схема, дефинираща различните връзки между отделните елементи на разглеждания механизъм, и са определени входни и гранични параметри за анализ на модела.

В експерименталната част са разгледани съвременни материали за покрития, които намират приложение в практиката. Направени са сравнителни експериментални изследвания на твърдосплавна пластина от моноблок и материали на различни покрития при условията на абразивно, струйно-абразивно и ударно-абразивно износване. На база на съществуващи технологии на повърхностни обработки и покрития е направен сравнителен анализ на експерименталните резултати.

В резултат от експериментите са получени близки стойности на параметрите на износоустойчивостта между съществуващата твърдосплавна пластина и електродно покритие Lincoln Hardfacing 2008. Това дава основание за възможността за вариантно решение на замяна на твърдосплавната пластина с армировка на моноблока чрез материал, предназначен за износоустойчиво покритие.

ПУБЛИКАЦИИ ВЪВ ВРЪЗКА С ДИСЕРТАЦИЯТА

1. Илиева-Стойчева К, Абразивно износване на елементи от минната механизация, годишник МГУ “Св.Иван Рилски”, том 56, свитък III, “Механизация, електрификация и автоматизация на мините”, София, 2013, стр. 48
2. Илиева-Стойчева К., Подобряване на износоустойчивостта на елементи от минната механизация чрез нанасяне на покрития върху контактните им повърхнини, годишник МГУ “Св.Иван Рилски”, том 56, свитък III, “Механизация, електрификация и автоматизация на мините”, София, 2013, стр. 52
3. Илиева-Стойчева К., Иванов Т., Математически модел с променливи параметри на ударно взаимодействие на пробивен инструмент от минната механизация, годишник МГУ “Св.Иван Рилски”, 2014 (под печат)
4. Илиева-Стойчева К., Изчислителен метод за определяне на износването на пробивен инструмент, годишник МГУ “Св.Иван Рилски”, 2014, (под печат)
5. Иванов Т., Илиева-Стойчева К., Числени симулации и анализ на резултатите от прилагането на математически модел с променливи параметри на ударно взаимодействие на пробивен инструмент от минната механизация, сборник доклади на Съюза на учените в България, 2014 ,(под печат)