

МОДЕЛИРАНЕ НА ПРОЦЕСА ПРОБИВАНЕ НА АНКЕРНАТА ДУПКА

Юлиан Димитров, Кристиан Цветков

Минно-геоложки университет "Св.Ив.Рилски", 1700 София, juldin@abv.bg,kho@mgu.bg

РЕЗЮМЕ. Прилагането на аналитични методи в проектирането на подземни съоръжения среща проблеми, при опит да се получи по-голяма прецизност на елементите на минна технология. Оказва се, че тези проблеми са от решаващо значение в разработването на модели с анкерите ТФА. Статията обсъжда основните модели и параметри на процеса на пробиване на анкерни дупки.

MODELING THE PROCESS OF MAKING ANCHOR HOLE

Julian Dimitrov, Kristian Tsvetkov

University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia, e-mail juldin@abv.bg ,kho@mgu.bg

ABSTRACT. The application of analytical methods in design of underground structures encountered problems when trying to obtain greater precision of the elements of mining technology. It turns out that these problems are crucial in designing models with frictional pipe anchor. The paper discussed the main models and parameters of the process of drilling anchor holes

Въведение

При прокарване на подготвителните изработки скоростта на минните работи се определя от възможностите на техниката за пробиване на взривни и анкерни дупки. За осигуряване на възможно най-голяма скорост на минните работи в Булат (2002) се предлага използването на възможно най-ефективна и автоматизирана техника за прокарване на анкерните дупки. Времето за изпълнение на операциите по изработване на анкерната дупка и установяване на анкера не трябва да надвишава 5 минути.

Пробиването на анкерните дупки може да бъде осъществявано с различни методи в зависимост от физико-механичните свойства на скалите. За предпочитане е използването на ударно – връщателни механизми, които съчетават ефекта на удара със срязване от лопатките на работния инструмент, формирани под определен ъгъл.

Развитие на моделирането на процеса на пробиване на скалата

Представите за механизма на разрушаване на скалния масив при ударно – въртеливото въздействие са се меннили и уточнявали в течение на няколко десетилетия (Алимов, 1976). В Энштейн (1939) се въвеждат параметри, които се определят по експериментален път и от геометричната форма на резеца. В Щрейнер (1950) е въведено уточняване на оценката на съпротивлението на скалния масив при пробиване.

В резултат на следващи изследвания са направени изводи за ъгъла на срязване, стъпката на работния

инструмент, големината на работната лопатка и други основни параметри.

Важен елемент на процеса на разрушаване при въртеливо пробиване е пластичното деформиране и уплътняване на скалата пред резеца (Алимов, 1976). Периодичното откъсване на елемент от скалата пред резците на коронката води до неравномерност в осевото натоварване и ъглови моменти, противодействащи на работния инструмент. Големината на тези моменти зависи от дълбочината на отделената стружка и от здравината на скалата. Отделянето на частиците скала се осъществява не едновременно – това води до неустойчиво положение на резеца и вариране (трепене) на оста на въртене на работния инструмент. Реализира се биене, което води до нарушаване на цилиндричната форма на анкерната дупка.

Основни видове взаимодействия

Механичният метод на разрушаване и пробиване на скалата най-често е чрез въртеливо и ударно въздействие на работния инструмент, снабден в предната си част с длето или коронка.

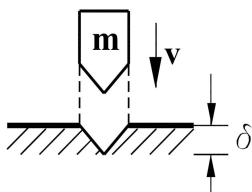
Приема се, че процесът на пробиване се подчинява на енергетичен закон за разрушаване на твърдото тяло.

Изводът е, че по размера на частиците, които се образуват в процеса на пробиване, може да се съди за ефективността на работата на пробивния инструмент. Колкото по-малки са частиците, които се отделят, толкова по-неефективен е процесът, понеже енергията отива за раздробяване на излишно малки частици с голяма обща площ. Преодоляването на този ефект частично се постига

с използването на специфична форма на ударния инструмент – форма на лопатки на работното тяло.

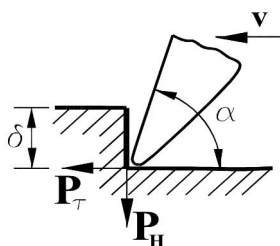
Всеки елемент на работното тяло указва периодично сложно разрушаващо и откътващо въздействие върху скалата. Процесът на пробиване на анкерната дупка може да се раздели на три вида взаимодействия между работния инструмент и скалата (Спивак, 1979).

Раздробяващото действие на работния инструмент е в резултат на периодични удари по повърхността на скалата (Фиг.1). Основни параметри са масата m на работния инструмент, скоростта v в момента на съприкосновение на работния инструмент със скалата и максимална дълбочина δ на пробиване на ударния инструмент при един удар.



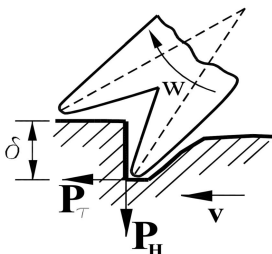
Фиг. 1: Схема на раздробяващото действие на работния инструмент

При режещото – откъсващо въздействие на работния инструмент, той трябва да има специфична заострена форма на "лопатка" под определен ъгъл (Фиг.2).



Фиг. 2: Схема на режещо - откъсващо действие на работния инструмент

Работните параметри са скорост v на преместването, нормален натиск P_H , тангенциален натиск P_τ и ъгъл α на действие на лопатката.



Фиг. 3: Схема на раздробяващо - откъсващо действие на работния инструмент

Прилаганите в производството работни инструменти са снабдени с коронки, които имат симетрично разположени лопатки. Този инструмент оказва едновременно раздробяващо и откъсващо действие (Фиг.3). Параметрите на процеса са скорост v на лопатката, нормален натиск

P_H , тангенциален натиск P_τ , максимално потъване δ на инструмента при едно въздействие и ъглова скорост w на въртене.

Напрегнато състояние на скалата при потъване на щампа

Разглеждаме плосък, кръгъл щамп. Съгласно Щрейнер (1950) разпределението на натиска в равнината на контакт е неравномерно само в началото. След това може да бъде

прието равномерно разпределение $p = \frac{P}{\pi a^2}$, където

P - сила на натиска на щампа; a - радиус на щампа.

Преместването на щампа се определя от формулите:

$$\delta = \frac{P(1-\mu^2)}{2aE} \quad \text{за неравномерен натиск и}$$

$$\delta = 0.54 \frac{P(1-\mu^2)}{aE} \quad \text{за равномерен натиск. Тук } \mu \text{ е}$$

коэффициент на Поасон и E - модул на Юнг.

При въздействието на елементите на работния инструмент обработваната скална повърхност преминава в гранично състояние, като достига натиск $\sigma_{i \max}$ при нормален натиск по контакта p (Спивак, 1979).

$\sigma_{i \max} = k p$, където k е максималната относителна интензивност на тангенциалните напрежения. В Спивак (1979) са дадени стойности на параметъра k за различни форми на щампа и при число на Поасон на скалата $\mu = 0.25$.

Чрез сравнителен анализ на ефекта от въздействието при различни форми на елемента на работния инструмент се определя най-подходящата форма и минималното натоварване за преминаване в гранично състояние на обработваната повърхност.

Основни принципи на динамичното деформиране и разрушаване на скалата

Съгласно Спивак (1979), при определено натоварване на щампа в зона под щампа се образуват кръгови пукнатини.

С увеличаване на натиска се увеличава зоната с развиващите се пукнатини в дълбочина.

На третия етап щампа потъва със скок в дълбочина.

В Спивак (1979), са разгледани два модела на динамично деформиране:

1. Имаме свободно падащ ударник с маса m и скорост при съприкосновение със скалата $v = v_0$ (Фиг.1).

Силата на деформиране (на удара) е $F = k_A \delta$, където

δ - потъване на ударника; k_A - коефициент на пропорционалност. Потенциалната енергия за $\delta = \delta_0$ е

$$U = \frac{1}{2} F \delta_0 = \frac{1}{2} k_A \delta_0^2. \quad \text{От } U = T_k = \frac{mv_0^2}{2} \text{ следва}$$

$$\delta_0 = v_0 \sqrt{\frac{m}{k_A}}.$$

2. Към ударника е приложена допълнителна сила P . Тогава енергията при $\delta = \delta_0$ е $k_A \delta_0^2 = mv_0^2 + 2P\delta_0$

$$\text{и резултатът е } \delta_0 = \frac{P}{k_A} \pm \sqrt{\left(\frac{P}{k_A}\right)^2 + \frac{m}{k_A} v_0^2}.$$

Математически модел на удара

Ударния механизъм формира ударен импулс, който може да бъде описан чрез вълново уравнение като функция на времето. Ефективността при разрушение на ударния инструмент се определя от формата, максималната амплитуда и продължителност на импулса.

Общи принципи и модели на удара са представени в Димитров и Цветков (2011).

Вълновият модел на Сен – Венан отразява достатъчно пълно динамичните процеси във взаимно удрящите се тела. Разглеждаме безкрайно малък елемент на прът, който се движи под действието на сила. Съгласно закона

на Нютон е изпълнено $m \frac{\partial^2 x}{\partial t^2} = \frac{\partial P}{\partial z}$, където

$m = \rho A dz$ - маса на елемента с дължина dz ,

ρ - плътност на пръта,

A - лице на сечението на пръта, x - преместване по дължината на пръта и

P - осева сила.

След като се приложи и закона на Хук за еластично тяло се стига до вълновото уравнение $\frac{\partial^2 x}{\partial z^2} - \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 x}{\partial t^2} = 0$,

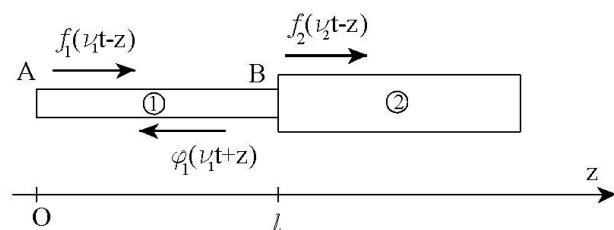
където $v = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$ - скорост на разпространение на

вълните на деформацията и E - модул на Юнг на пръта.

В Димитров и Цветков (2011) са обсъдени моделите: Ударен процес при свободен прът и Ударен процес при взаимодействие с абсолютно твърдо тяло

Разпространение на вълните на границата между две удрящи се тела

Моделът е представен на фиг.4.



Фиг. 4. Ударен процес при взаимодействие между два пръта

От връзката между граничните условия на решенията на двата пръта се получава, че в точка В на черт. 3 съвпадат

скоростите $\frac{\partial x_1(l,t)}{\partial t} = \frac{\partial x_2(l,t)}{\partial t}$. От равенството на силите

$$\text{следва } E_1 A_1 \frac{\partial x_1(l,t)}{\partial z} = E_2 A_2 \frac{\partial x_2(l,t)}{\partial z},$$

където E_1 и E_2 са модулите на Юнг за двата пръта и A_1, A_2 са лицата на техните сечения. От равенството на скоростите следва, че сумарната скорост на правата и обратна вълна за тяло 1 е равна на скоростта на правата вълна на тяло 2: $v_1[f_1'(v_1 t - l) + \varphi_1'(v_1 t + l)] = v_2 f_2'(v_2 t - l)$.

От равенствата на силите се получава $E_1 A_1 [-f_1'(v_1 t - l) + \varphi_1'(v_1 t + l)] = E_2 A_2 [-f_2'(v_2 t - l)]$

От двете уравнения се получава

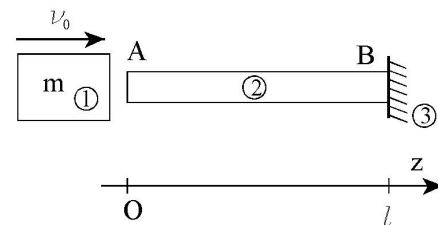
$$\varphi_1'(v_1 t + l) = \frac{r-1}{r+1} f_1'(v_1 t - l), \text{ където } r = \frac{E_1 A_1 v_2}{E_2 A_2 v_1}$$

отношение на ударната твърдост на двете тела.

Ако отношението на ударната твърдост е $r = 1$ - не възниква обратна вълна в прът 1. Ако $r = \infty$ имаме частен случай на свободен прът 1. Случая $r = 0$ съответства на прът с абсолютно твърда преграда.

Модел на процеса на взаимодействие с обработваната среда

Разглеждаме модел, с твърд, тежък, недеформируем ударник с маса m и еластичен вълновод (фиг. 5)



Фиг. 5. Схематичен модел с твърд, тежък, недеформируем ударник: 1. - ударник; 2. - вълновод и 3. - обработвана среда

Преместването в сечение z от пръта е $x(z,t) = f(vt - z) + \varphi(vt + z)$ - представено като сума на права и обратна вълна.

В сечението на пръта при $z = 0$ е изпълнено

$$-m \frac{\partial^2 x(0,t)}{\partial t^2} + EA \frac{\partial x(0,t)}{\partial z} = 0, \text{ където } E \text{ и } A \text{ са}$$

съответно модул на Юнг и сечение на пръта.

Граничните условия при $z = l$ са

$$EA \frac{\partial x(l,t)}{\partial z} + kx(l,t) = 0, \quad x(l,t) = const, \quad v(l,t) = 0,$$

$$\frac{\partial x(l,t)}{\partial z} = 0, \text{ където } k = \frac{P}{x} - \text{твърдост на контакта.}$$

Начални условия :

$$x(0,0) = 0, \quad \frac{\partial x(0,0)}{\partial z} = v_0 - \text{скорост в началния момент}$$

$$\text{на удара, } x\left(l, \frac{l}{v}\right) = -\frac{\partial x\left(l, \frac{l}{v}\right)}{\partial z} = 0.$$

За правата вълна се получава

$$f(vt - z) = \frac{v_0 l}{v \alpha} \left[1 - e^{-\frac{\alpha}{l}(vt-z)} \right], \text{ където } \alpha = \frac{\rho A l}{m}$$

отношение на масите на вълновода и ударника. За обратната вълна се получава

$$\varphi(vt + z) = \frac{v_0 l}{v\alpha} (1 + \lambda) \left[e^{-b(vt+z-2l)} - e^{-\frac{\alpha}{l}(vt+z-2l)} \right], \text{ където}$$

$$b = \frac{k}{EA} \text{ и } \lambda = \frac{\alpha + bl}{\alpha - bl}.$$

Съвместен модел на пробивното тяло и ударния прът

Разглеждаме случая, когато ударният инструмент се състои от ударен прът и конично ударно тяло (Алимов, 1976). В този случай към вълновото уравнение, написано за пръта,

$$\frac{\partial^2 x}{\partial z^2} - \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 x}{\partial t^2} = 0 \text{ се прибавя и уравнението}$$

$$\frac{\partial^2 y}{\partial z^2} + \frac{2q}{qz-1} \cdot \frac{\partial y}{\partial z} - \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = 0 \text{ за коничния ударник.}$$

Тук x е преместването на сечението в точка от пръта и y - на сечението на ударника.

Уравненията се свързват с:

Начални условия

$$x|_{t=0} = y|_{t=0} = 0, \quad \left. \frac{\partial x}{\partial t} \right|_{t=0} = \frac{v_0}{a}, \quad \left. \frac{\partial y}{\partial t} \right|_{t=0} = 0.$$

Гранични условия

$$\left. \frac{\partial x}{\partial z} \right|_{z=-L} = 0, \quad \left. \frac{\partial y}{\partial z} \right|_{z=\infty} = 0, \quad \left. \frac{\partial x}{\partial z} \right|_{z=0} = \left. \frac{\partial y}{\partial z} \right|_{z=0} = 0,$$

$$x|_{z=0} = y|_{z=0} = 0.$$

Тук $z = -L$ е в работната повърхнина на ударника и $z = \infty$ се отнася за отдалечени от ударника точки на пръта.

При равенство на модулите на еластичност на двете тела отнашението на ударната плътност е $\tau = \frac{F}{F_0}$,

където F - сечение на ударника и F_0 - сечение на пръта.

Основни параметри на процеса на пробиване на анкерната дупка

В Алимов(1976) са представени основните параметри и техните дименсии за процеса на пробиване по въртеливо-ударния способ:

v - скорост на пробиване. Дименсия $v = 100(20 - f) \text{ mm/min}$, където f е коефициент на якост. Изпълнено е $v = nh$, където

h - големина на потъване на инструмента при всеки оборот, $h = 10 - 0.5f \text{ mm/tr}$,

n - честота на въртене на инструмента, $n = 200 \text{ tr/min}$.

P_{\max} - максимално осево усилие, $15 \div 20 \text{ kN}$.

q_n - коефициент за ефективност на пробиването, получава се от емпиричната зависимост

$q_n = (9 - 0.42f)10^{-1} \text{ mm/kN}$. Служи за предварителна

оценка на целесъобразността от използването на въртеливо-ударния способ при дадени физико-механични характеристики на скалата.

Прилага се намаляване на h с цел избягване на бързо износяване на работния инструмент. Изчислява се по емпиричната зависимост $q_n = 1.5 - \frac{n}{400}$ за получаване на обороти n под 200 tr/min . Друга емпирична

зависимост е $q_n = 1.1 - \frac{F_T}{80}$, където F_T е общата площ

на притъпените резци.

В Алимов (1976) е предложена таблица с най-рационални дименсии на параметрите при различни стойности на коефициента на якост f .

Някои препоръки при пробиване на анкерните дупки дадени в Булат (2002):

- Времето за изпълнение на операцията по пробиване на една анкерна дупка да не превишава $300s$;
- Работата по монтиране на анкерите да започва от страната с по-голяма напуканост на масива;
- Скоростта на прокарване на изработката трябва да бъде не по-малка от $5 - 7m$ за работна смяна;
- При въртеливо-ударния способ на пробиване на анкерните дупки с промиване с вода е оправдано да се използва ъглова скорост $800 - 1000 \text{ tr/min}$.
- При слаби скали с якост на натиск до 20 MPa да се изпълнява пробиването без промиване и със сухо прахоулавяне;

Изводи

Връщателно – ударния способ на пробиване на анкерната дупка е най-подходящ за повече от срещащите се минно – технологични условия. В допълнение в Булат (2002) са посочени технологичните предимства на метода: голяма производителност и икономичност; сравнително ниско ниво на шума и други.

При пробиване на анкерни дупки за ТФА е необходимо формата и размерът им да се спазят в определени по-строги граници. Това е възможно като се подберат подходящи параметри на пробивното съоръжение.

Литература

- Алимов О. Д., Л. Т. Дворников. 1976. *Бурильные машины*, М. Машиностроение
- Булат А. Ф., В. В. Виноградов, 2002. *Опорно – анкерное крепление горных выработок угольных шахт*, Днепропетровск
- Димитров Ю., Кр. Цветков, 2011. Изследване на формата на отразения импулс при чука на Шмид, Годишник МГУ
- Энштейн Е. Ф., 1939. *Теория бурения – резания горных пород твердыми сплавами*, Л., ГОНТИ
- Спивак А.И., А. Н. Попов, 1979. *Разрушение горных пород при бурении скважин*, Москва, «Недра»
- Шрейнер Л.А., 1950. *Физические основы механики горных пород*, М. – Л., Гостоптехиздат