

ной матрицы, а также состав и формула карбидной эвтектики. Установлен также вид мелкодисперсных карбидов, образовавшихся в результате распада аустенита матрицы. Показано, что причиной повышения магнитных свойств сплава после термической обработки является образование ферромагнитных доменов (FeNi, FeTiO₃, Fe₂Si, FeCr, FeC).

Сплав после такой термической обработки имеет стабильную твердость HRC 53...55; шары из него выдерживают при испытаниях на ударном копре свыше 100 ударов без видимых следов разрушения, их износостойкость при работе в шаровых мельницах десятикратно превышает износостойкость шаров из стали 65 [6].

Список литературы

1. Владимиров А.А. Применение высокохромистых чугунов для изготовления мелющих шаров / А.А. Владимиров, В.И. Удовинов // Литейное производство. - 1991. - № 8. - С. 31-32.
2. Горбачев Л.А. Оптимизация эксплуатационных свойств сплава ИЧХ15Г4НТ / Л.А. Горбачев, Ю.Г. Русин // Вестник ВКТУ. - 2000. - № 3. - С. 102-112.
3. Алимов В.И. Влияние легирующих элементов на износостойкость белых чугунов / В.И. Алимов, С.Т. Громов // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. - 1997. - № 10. - С. 117.
4. Горбачев Л.А. Влияние термической обработки на структуру дефектов сплава ИЧХ15Г4НТ / Л.А. Горбачев, Н.А. Гусева, Л.И. Парфенов, Ю.Г. Русин // Реферативный журнал. 15. Металлургия. - М., 1992. - № 11-12.
5. Горбачев Л.А. Износостойкий чугун / Л.А. Горбачев, Ю.Г. Русин. - Патент РК № 11737 с приоритетом от 30.01.2001 г.
6. Горбачев Л.А. Повышение эксплуатационных свойств помольных шаров из сплава ИЧХ15Г4НТ / Л.А. Горбачев, Ю.Г. Русин, А.Р. Кабышева: Материалы Междунар. интернет-конф. «Альянс наук: ученый - ученому» (25-26 февраля 2011 г.) / Л.А. Горбачев, Ю.Г. Русин, А.Р. Кабышева. - Днепропетровск, 2011. - С. 62-72.

Получено 18.02.11

УДК 622.281(574.32)

В.Ф. Демин, А.С. Смагулова, Т.В. Демина, Ю.Ю. Стефлюк
КарГТУ, г. Караганда
Ю.Н. Шапошник
ВКГТУ, г. Усть-Каменогорск

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ГЛАВНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ НА УСТОЙЧИВОСТЬ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ВЫРАБОТОК

Для управления проявлениями горного давления необходимо проведение инженерных мероприятий и применение приемов горной технологии по прогнозированию и активному регулированию в целях преодоления негативных проявлений для обеспечения эффективной эксплуатации горных выработок и производства горных работ.

Количественные и качественные характеристики этих явлений исследовались теоретически на основе эмпирических данных и методом конечных элементов в различных горно-геологических и горно-технологических условиях эксплуатации.

Для исследования влияния горно-технологических факторов на устойчивость выработок на шахтах УД АО «АрселорМиттал Темиртау» проведены наблюдения за 55 горными выработками на предмет их дефектности. Целью наблюдений явилось установление влияния различных горно-технических факторов на устойчивость эксплуатационных выработок. В качестве влияющих факторов выбраны: мощность (m) [м] и угол падения

пласта α ($^\circ$); глубина разработки H (м); размер площади поперечного сечения в свету s (m^2); угол проведения ψ ($^\circ$), форма сечения и вид крепления выработки.

Результативными факторами являются главные напряжения σ_1 и σ_2 (МПа).

Из множества наклонных площадок, которые можно мысленно провести через обследуемую точку тела, будем считать для этой точки ту площадку главной, на которой касательное напряжение отсутствует, т. е. $\tau = 0$, и поэтому полное и нормальное напряжения для главной площадки совпадают по величине и по направлению.

Из этого условия определяются главные напряжения и положения площадок, на которых они действуют. Обозначая искомое главное напряжение σ и проектируя его на оси x , y , z , имеем

$$\begin{aligned}\sigma l &= \sigma_x l + \tau_{xy} m + \tau_{xz} n, \\ \sigma m &= \tau_{yx} l + \sigma_y m + \tau_{yz} n, \\ \sigma n &= \tau_{zx} l + \tau_{zy} m + \sigma_z n.\end{aligned}\quad (1)$$

Приравнивая к нулю определитель полученной системы уравнений

$$\begin{vmatrix} (\sigma_x - \sigma) & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ \tau_{yx} & (\sigma_y - \sigma) & \tau_{yz} \\ \tau_{zx} & \tau_{zy} & (\sigma_z - \sigma) \end{vmatrix} = 0 \quad (2)$$

и раскрывая его, получим кубическое уравнение

$$\sigma \cdot l - \sigma_x \cdot l - \tau_{yx} \cdot m - \tau_{zx} \cdot n = 0, \quad (3)$$

три корня которого и будут значениями трех главных напряжений в рассматриваемой точке. Одно из них будет алгебраически наибольшим для точки - обозначим его через σ_1 , наименьшее напряжение - через σ_3 , а промежуточное - σ_2 , то есть $\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \sigma_3$.

При переходе к главным напряжениям тензор напряжений получает вид

$$\begin{pmatrix} \sigma_1 & & \\ & \sigma_2 & \\ & & \sigma_3 \end{pmatrix}. \quad (4)$$

Коэффициенты уравнения 3 можно найти по формуле 5. Промежуточные значения в формуле 5 можно найти с помощью формулы 6.

$$\begin{aligned}I_1 &= \sigma_x + \sigma_y + \sigma_z; \\ I_2 &= \sigma_x \sigma_y + \sigma_x \sigma_z + \sigma_y \sigma_z - \tau_{yx}^2 - \tau_{zx}^2 - \tau_{zy}^2; \\ I_3 &= \sigma_x \sigma_y \sigma_z - \sigma_x \tau_{zy}^2 - \sigma_y \tau_{zx}^2 - \sigma_z \tau_{yx}^2 + 2\tau_{yx} \tau_{zx} \tau_{zy},\end{aligned}\quad (5)$$

где I_1 , I_2 , I_3 - инвариантные соотношения, иначе называемые первым, вторым и третьим инвариантами тензора:

$$\begin{aligned}I_1 &= \sigma_x + \sigma_y + \sigma_z = const, \\ I_2 &= \sigma_x \sigma_y + \sigma_y \sigma_z + \sigma_z \sigma_x - \tau_{xy}^2 - \tau_{yz}^2 - \tau_{zx}^2 = const, \\ I_3 &= \sigma_x \sigma_y \sigma_z + 2\tau_{xy} \tau_{yz} \tau_{zx} - \sigma_x \tau_{yz}^2 - \sigma_y \tau_{zx}^2 - \sigma_z \tau_{xy}^2 = const.\end{aligned}\quad (6)$$

Заметим, что первый (линейный) инвариант представляет собой сумму элементов, расположенных на главной диагонали в тензоре напряжений, которая, как будет показано далее, пропорциональна относительной объемной деформации у рассматриваемой точки, т. е.

$$I_1 = E_0 \theta. \quad (7)$$

Объемная деформация θ , т.е. относительное изменение объема вокруг данной точки как явление физического порядка, конечно, не зависит от способа ее вычисления. Контролем правильности решения кубического уравнения (5) может служить равенство

$$I_1 = \sigma_x + \sigma_y + \sigma_z = \sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3. \quad (8)$$

Второй (квадратичный) инвариант представляет сумму миноров определителя, составленного из компонентов тензора напряжений, если произвести разложение его по главной диагонали, т. е.

$$I_2 = \begin{vmatrix} \sigma_x & \tau_{xy} \\ \tau_{yx} & \sigma_y \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} \sigma_y & \tau_{yz} \\ \tau_{zy} & \sigma_z \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} \sigma_z & \tau_{zx} \\ \tau_{xz} & \sigma_x \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \sigma_1 & 0 \\ 0 & \sigma_2 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} \sigma_2 & 0 \\ 0 & \sigma_3 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} \sigma_3 & 0 \\ 0 & \sigma_1 \end{vmatrix}. \quad (9)$$

Контролем правильности решения уравнения может, очевидно, служить равенство

$$I_2 = \sigma_1 \sigma_2 + \sigma_2 \sigma_3 + \sigma_3 \sigma_1. \quad (10)$$

Третий (кубический) инвариант представляет собой развернутый в строку определитель, составленный из компонентов тензора напряжений

$$I_3 = \begin{vmatrix} \sigma_x & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ \tau_{yx} & \sigma_y & \tau_{yz} \\ \tau_{zx} & \tau_{zy} & \sigma_z \end{vmatrix}. \quad (11)$$

Сравнить поведение выработок, проведенных в целике или в присечку, не удалось, так как из 51-й обследованной выработки лишь одна пройдена в присечку. В настоящее время на шахтах УД АО «АрселорМиттал Темиртау» эксплуатируются всего 4 выработки, пройденные в присечку. В связи с незначительным количеством и протяженностью данных выработок объем статистических данных является недостаточным для получения достоверных выводов.

Для анализа формы сечения и вида крепления взяты данные по металлоарочному креплению и анкерному креплению при прямоугольном сечении, так как на шахтах УД преобладают данные формы сечения и виды крепления [1].

Для установления зависимостей использовался метод наименьших квадратов, программным средством корреляционного анализа является Mathcad 2001 Professional.

Исследованы зависимости напряжений от мощности пласта. При металлоарочном креплении зависимость напряжений от мощности пласта характеризуется формулами (12), (13), а при анкерном креплении – (14) и (15). Зависимости приведены для Саранского участка. Коэффициенты корреляции обозначены как r :

$$\sigma_1^m(m) = 0,1 \cdot e^{0,76 \cdot m} + 81, \quad r=0,86; \quad (12)$$

$$\sigma_3^m(m) = -0,4 \cdot m^3 + 5,2 \cdot m^2 - 19,3 \cdot m + 41,1, \quad r=0,92; \quad (13)$$

$$\sigma_1^a(m) = 0,208 \cdot e^{0,69m} + 65, \quad r=0,9; \quad (14)$$

$$\sigma_3^a(m) = 1,8 \cdot e^{0,162m} + 7,4, \quad r=0,8, \quad (15)$$

где δ_1^m и δ_3^m - напряжения σ_1 и σ_3 для металлоарочного крепления;

δ_1^a и δ_3^a - напряжения σ_1 и σ_3 для анкерного крепления.

Значения мощности варьировались: для металлоарочного - в пределах от 2 до 5,5 м, а для анкерного – от 1,5 до 5,5 м. Выходные значения δ_1^m изменяются в промежутке от 81,6

до 87,1 МПа, δ_3^M - от 19,5 до 25,5 МПа. А значения δ_1^a изменяются в диапазоне от 65,6 до 74,2 МПа, δ_3^a - от 9,7 до 11,8 МПа (рис. 1). Таким образом, значение напряжения δ_1^M больше, чем δ_3^M в 3,86 раза. А значения напряжения δ_3^a при анкерном креплении почти не меняются.

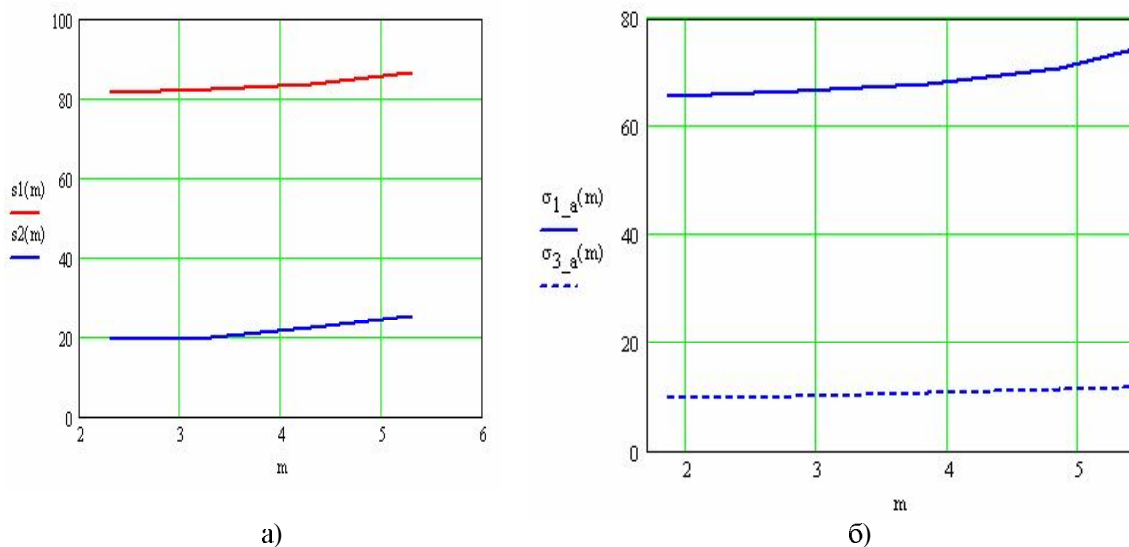


Рисунок 1 – Влияние мощности пласта на величину напряжений σ_1 и σ_3 , возникающих вокруг контура выработки, закрепленной металлоарочной (а) и анкерной (б) крепью

Исследованы зависимости напряжений от угла падения пласта. При металлоарочном креплении зависимость напряжений от угла падения пласта характеризуется формулами (16), (17), а при анкерном креплении – (18) и (19) (рис. 2).

$$\sigma_1^M(\alpha) = 0,65 \cdot \alpha^3 - 26,5 \cdot \alpha^2 + 360,5 \cdot \alpha - 1518, \quad r=0,98; \quad (16)$$

$$\sigma_3^M(\alpha) = 0,028 \cdot \alpha^3 - 1,2 \cdot \alpha^2 + 16,5 \cdot \alpha - 69,8, \quad r=0,98; \quad (17)$$

$$\sigma_1^a(\alpha) = 1,169 \cdot e^{0,253\alpha} + 51,638, \quad r=0,98; \quad (18)$$

$$\sigma_3^a(\alpha) = 0,191 \cdot \alpha^3 - 5,392 \cdot \alpha^2 + 47,401 \cdot \alpha - 137,489, \quad r=0,98. \quad (19)$$

Функции $\delta_1^{мет}(\alpha)$, $\delta_2^{мет}(\alpha)$, $\delta_2^{анк}(\alpha)$ характеризуются кубическими полиномами, а функция $\delta_1^{анк}(\alpha)$ описывается экспоненциальной функцией. Значения угла падения пласта для металлоарочного крепления варьировались в пределах $\alpha=9...19,1^\circ$, а для выработок с анкерным креплением – $\alpha=7...14^\circ$. Функция $\delta_1^{мет}(\alpha)$ - возрастающая.

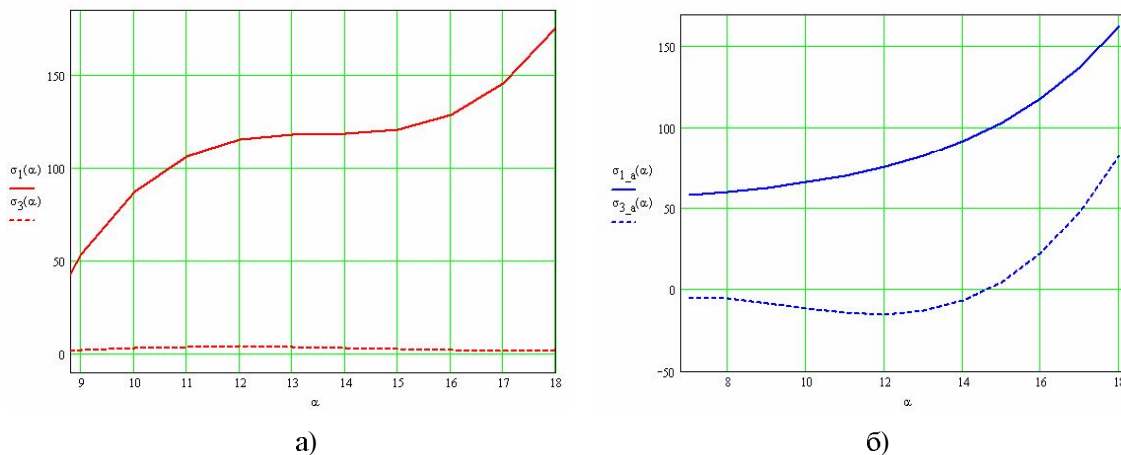


Рисунок 2 – Влияние угла падения пласта на величину напряжений σ_1 и σ_3 , возникающих вокруг контура выработки, закрепленной металлоарочной (а) и анкерной (б) крепью

Исследование зависимости напряжений от глубины разработки. При металлоарочном креплении зависимость напряжений от глубины разработки пласта характеризуется формулами (20), (21), а при анкерном креплении – (22) и (23) (рис. 3).

$$\sigma_1^M(H) = 9,9 + 0,2 \cdot H, \quad r=0,8; \quad (20)$$

$$\sigma_3^M(H) = 1,2 + 0,04 \cdot H, \quad r=0,8; \quad (21)$$

$$\sigma_1^A(H) = 19,886 + 0,104 \cdot H, \quad r=0,8; \quad (22)$$

$$\sigma_3^A(H) = -30,349 + 0,038 \cdot H, \quad r=0,8. \quad (23)$$

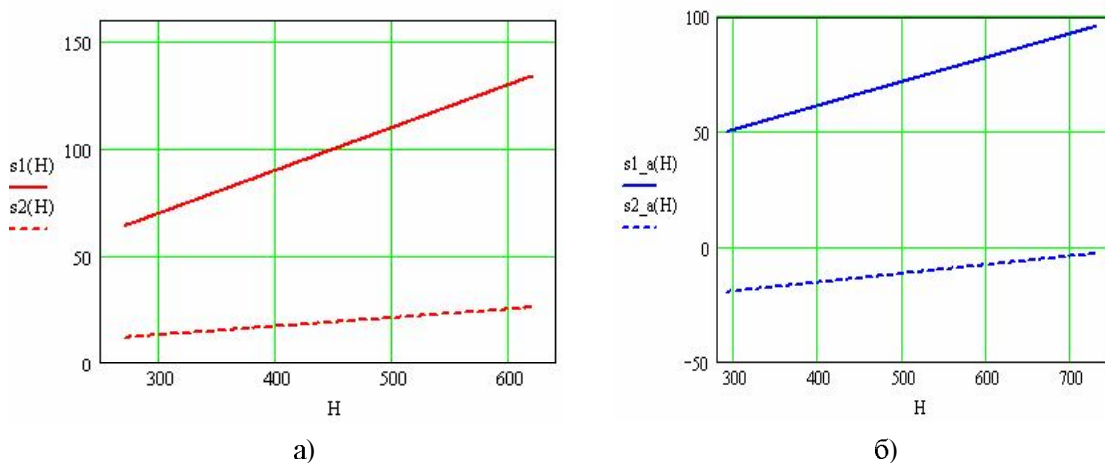


Рисунок 3 – Влияние глубины разработки на величину напряжений σ_1 и σ_3 , возникающих вокруг контура выработки, закрепленной металлоарочной (а) и анкерной (б) крепью

Значения глубины разработки H варьировались: для металлоарочного крепления от 270 до 620 м; для анкерного крепления - от 290 до 730 м.

Напряжение σ_1 при металлоарочном креплении возрастает от 64 МПа до 134 МПа или

в 2 раза, а при анкерном креплении - от 48 МПа до 84,5 МПа или в 1,8 раза. Как видно из графика (рис. 3), σ_3 при металлоарочном креплении возрастает от 12 МПа до 26 МПа или в 2,2 раза.

Анализ результатов наблюдений в диапазоне от 300 до 600 м показывает, что значение напряжения σ_1 при металлоарочном креплении в 1,5 раза больше, чем при анкерном креплении, что свидетельствует об устойчивости выработок [2] при анкерном креплении, чем металлоарочном с ростом глубины.

Список литературы

1. Презент Г.М. Проблемы реструктуризации и интенсификации угледобычи в Карагандинском бассейне / Г.М. Презент, С.К. Баймухаметов, С.С. Квон. - Астана: Министерство культуры, информации и общественного согласия Республики Казахстан. - 280 с.
2. Демин В.Ф. Исследование влияния главных максимальных горизонтальных напряжений на горные выработки / В.Ф. Демин, А.С. Смагулова // Международный научный журнал «Актуальные проблемы современности». - Серия «Технические науки». - 2010. - № 6(56). - Караганды: Болашак-Баспа, 2010. - С. 43-46.
3. Судариков А.Е. Исследование напряженно-деформированного состояния горных пород в приконтурной зоне выемочных выработок / А.Е. Судариков, Т.В. Демина, М.М. Баймульдин. - IX Междунар. конф. «Ресурсовоспроизводящие, малоотходные природоохранные технологии освоения недр. - Котону (Бенин); Москва (Россия), 2010. - С. 235-237.

Получено 09.02.11

УДК 622.281(574.32)

В.Ф. Демин, А.С. Смагулова, В.В. Демин, Б. Толовхан

КарГТУ, г. Караганда

Ю.Н. Шапошник

ВКГТУ, г. Усть-Каменогорск

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНВЕРГЕНЦИИ ОТ УГЛА ЗАЛОЖЕНИЯ ВЫРАБОТОК ОТНОСИТЕЛЬНО ДЕЙСТВУЮЩИХ ГЛАВНЫХ МАКСИМАЛЬНЫХ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ

Повышенное внимание к полям напряжений на горнодобывающих предприятиях объясняется необходимостью решения проблемы повышения устойчивости горных выработок. Многочисленные публикации результатов исследований, проведенных в последние 15-20 лет на шахтах США, Австралии и других стран, доказывают, что взаимная ориентация главных горизонтальных напряжений и подготовительных горных выработок часто является основным фактором, определяющим устойчивость подготовительных выработок на угольных и рудных шахтах [1].

Достаточно надежными способами определения значений и направления горизонтальных напряжений на шахтах считаются методы разгрузки, гидроразрыва и другие способы. Но все эти методы трудноосуществимы, так как требуют больших затрат времени и опыта проведения подобных работ.

Достаточно доступен и в то же время надежен метод оценки напряженного состояния, основанный на анализе визуально наблюдаемых трещин в кровле и стенках горных выработок. На этом принципе основан применяемый в США метод картирования, который позволяет установить наличие и направление горизонтальных напряжений и дать относительную оценку их значений.

В бывшем СССР метод изучения палеотектонических полей напряжений впервые