УДК 622:28

Исследование эффективности прокатных профилей для рамной крепи горных выработок

Г. Г. ЛИТВИНСКИЙ,
доктор техн. наук
(Донбасский ГТУ)

Э. В. ФЕСЕНКО,
канд. техн. наук
(Донбасский ГТУ)

Рассчитаны критерии эффективности различных профилей металлопроката при их работе на изгиб и кручение. Доказано, что наиболее эффективен замкнутый тонкостенный профиль квадратного очертания. Определены его параметры для изготовления рамной крепи горных выработок.

Свыше 90 % горных выработок шахт в Украине закреплены стальной рамной крепью. На каждый километр выработки в среднем требуется около 300 – 350 т металлопроката, поэтому в горнодобывающей промышленности все более актуальна проблема его экономии.

Известно, что при работе несущего элемента на изгиб наиболее экономичным профилем является двутавр, который ранее использовали в конструкции стальных рамных крепей, работавших в жестком режиме [1, 2]. Однако в настоящее время от двутавра отказались из-за присущих ему существенных недостатков: низкого момента сопротивления кручению $W_к$ (что приводит к появлению недопустимых крутильных деформаций) и жесткого режима работы крепи, что исключает его применение при больших смещениях породного контура.

Вместо двутавра разработаны специальные профили проката (СВП, СВПУ, КГВ и др.), которые с середины прошлого века широко используют для изготовления стальных рамных крепей [1 – 3]. Опыт эксплуатации крепей из специальных профилей СВП позволил выявить их основные недостатки: отрыв днища специального профиля и недопустимые изгибные деформации верхняка; концы верхняка и стоек на участке узла податливости взаимодействуют с разными условиями взаимного скольжения, что нарушает работу податливых соединений крепи; низкий момент сопротивления кручению и высокая двусторонняя скорость коррозии.

В связи с указанным сформулируем требования к профилю для стальной рамной крепи:

- высокое сопротивление изгибу, кручению и потере местной устойчивости;
- повышенная стойкость к коррозии;
- простые и надежные соединения элементов;
- низкий расход металла на единицу несущей способности.

Цель и задачи исследований состоят в анализировании показателей прокатных профилей, обосновании параметров наиболее эффективных и оценке целесообразности их использования в рамной крепи.

К существующим серийным профилям проката, которые можно использовать при изготовлении рамных крепей, относятся двутавры, специальные взаимозаменяемые профили (СВП, СВПУ) и трубы (круглые, квадратные, прямоугольные).

Несущая способность и надежность крепи тем выше, чем лучше сопротивляется сжатию, изгибу и кручению профиль, из которого она изготовлена. Поэтому выбраны следующие характеристики профилей: высота h и ширина b, толщина t его полки и стенки s, площадь поперечного сечения A, моменты сопротивления изгибу W_x и кручению W_k.

Наиболее эффективным следует считать профиль, у которого моменты сопротивления изгибу и кручению максимальны при минимальной площади поперечного сечения (т. е. обеспечивающий наименьший расход металла), ко-

торый пропорционален площади A: W_x, $W_к \to \max$ при $A \to \min$.

Для сравнения различных профилей и оценки их эффективности удобен безразмерный симплекс в виде критерия эффективности, определяемого по формуле [4]

$$k = W \Big/ \sqrt{A^3}\ . \qquad (1)$$

Для учета работы профиля на изгиб и кручение этот критерий имеет вид

$$k_{изг} = W_x \Big/ \sqrt{A^3}; \qquad k_к = W_к \Big/ \sqrt{A^3}, \qquad (2)$$

где $k_{изг}$ и $k_к$ – критерии эффективности профиля на изгиб и кручение.

Таким образом, критерии $k_{изг}$ и $k_к$ определяют несущую способность профиля по отношению к его площади на изгиб и кручение.

Прокатные профили сгруппируем и сопоставим по площади поперечного сечения одного из типоразмеров спецпрофиля СВП. Например, расчет критериев эффективности профилей, соответствующих спецпрофилю СВП 14, приведен в табл. 1, из которой следует, что относительные критерии эффективности по изгибу k_1 и кручению k_2 представляют собой соотношение критериев профиля $k_{изг}$ и $k_к$ и спецпрофиля СВП. Относительный критерий k_1 показывает, во сколько раз рассматриваемый профиль эффективнее профиля СВП 14 по изгибу, а k_2 – по кручению. Установлено, что на изгиб лучшим является двутавр, у которого $k_1 = 3{,}33$. Это значит, что при том же расходе металла двутавр выдержит изгибающие моменты в 3,33 раза большие, чем профиль СВП. Однако эффективность двутавра по кручению недопустимо мала (как и у профиля СВП).

Круглая труба эффективнее спецпрофиля по изгибу k_1 в 1,34 – 2,45 раза, а по кручению – в десятки раз (k_2 = 22,4…40,8). Однако применять круглый профиль для изготовления крепи не вполне рационально, поскольку диаметр трубы больше, чем размеры соответствующего профиля СВП, что делает крепь более громоздкой, а также затрудняет монтаж межрамных ограждений.

Коробчатые профили квадратной и прямоугольной формы превосходят спецпрофиль СВП по изгибу в 1,11 – 1,93 раза, а по кручению – в 16 – 26,1 раза. При этом линейные размеры коробчатой трубы $h \times b$ меньше или соизмеримы с размерами спецпрофиля СВП 14 ($h \times b$ = 88 × 121 мм). Таким образом, изготовление крепей из коробчатых профилей прямоугольного сечения не потребует увеличения площади поперечного сечения проводимой выработки, не создаст сложностей в стыковке элементов крепи, упростит конструкцию податливых соединений и не затруднит укладку межрамных ограждений. Следует учесть, что коробчатые профили имеют высокое сопротивление кручению, что объясняется их замкнутой формой в отличие от открытых профилей СВП, СВПУ и двутавров.

Относительный критерий эффективности k_1 прямоугольной трубы зависит от соотношения ее линейных размеров h / b и толщины стенки трубы t. Из рис. 1 следует, что эффективность трубчатого профиля прямоугольного сечения по изгибу при изме-

Таблица 1

Типоразмер профиля	Площадь поперечного сечения A, см^2	Момент сопротивления		Критерий эффективности			
				по изгибу		по кручению	
		W_x, см^3	$W_к$, см^3	$k_{изг}$	$k_1 = k_{изг}/k_{СВП}$	$k_к$	$k_2 = k_к/k_{СВП}$
СВП 14	18,70	40,70	4,55	0,50	1,0	0,06	1,0
СВПУ 14а	18,00	44,60	6,43	0,58	1,17	0,08	1,4
Двутавр 18Б1	19,58	120,08	5,20	1,39	2,77	0,06	1,0
Двутавр Т22	17,45	121,52	4,37	1,67	3,33	0,06	1,0
Труба 127×5	19,16	56,24	112,5	0,67	1,34	1,34	22,4
Труба 219×2,8	19,02	101,50	203,0	1,22	2,45	2,45	40,8
Труба 100×100×5	18,36	54,22	85,7	0,69	1,38	1,09	18,2
Труба 120×120×4	18,15	67,05	104,0	0,87	1,73	1,34	22,4
Труба 90×80×6,3	18,47	44,23	76,2	0,56	1,11	0,96	16,0
Труба 120×50×6,3	18,47	47,7	79,0	0,60	1,20	1,0	16,6
Труба 110×90×5	18,36	56,87	93,16	0,72	1,45	1,18	19,7
Труба 160×40×5	18,36	60,17	77,45	0,76	1,53	0,98	16,4
Труба 140×100×4	18,15	71,94	117,6	0,93	1,86	1,52	25,4
Труба 160×80×4	18,15	74,71	121,2	0,97	1,93	1,57	26,1

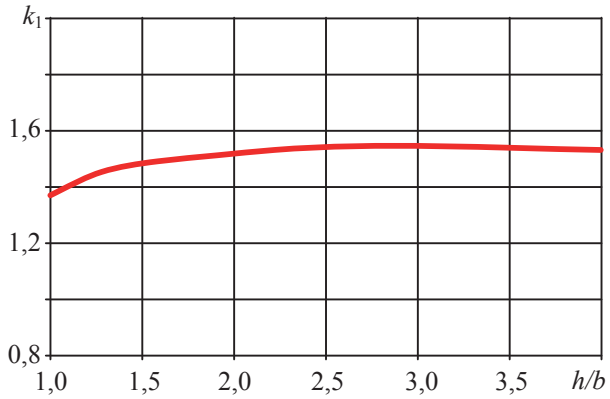

Рис. 1. Зависимость относительного критерия эффективности профиля k_1 от соотношения его размеров h / b при t = 5 мм.

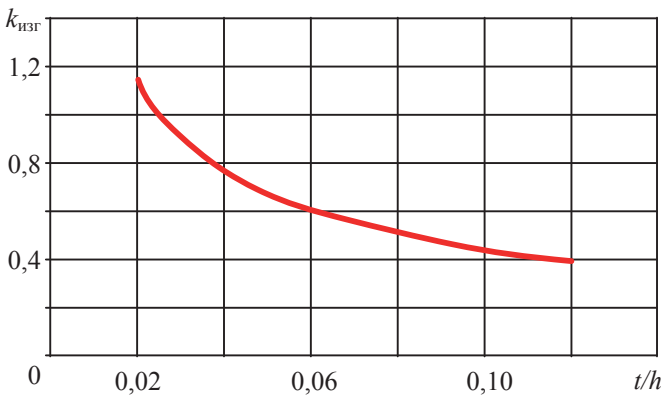

Рис. 2. Зависимость коэффициента эффективности профиля $k_{изг}$ от относительной толщины стенки t/h.

нении его размеров h / b от 1 до 4 меняется незначительно (в диапазоне k_1 = 1,38…1,55). Необходимо учесть, что профили с h / b > 2 нетехнологичны из-за громоздкости, на них неудобно укладывать затяжку, и главное, они обладают пониженным моментом сопротивления W_y.

Следовательно, для изготовления рамных крепей из всего разнообразия профилей металлопроката наиболее эффективен квадратный коробчатый. Как видно из табл. 1, эффективность такого профиля повышается при увеличении размеров и уменьшении толщины стенки. При уменьшении относительной толщины стенки с t/h = 0,12 до t/h = 0,02 эффективность по изгибу увеличивается примерно в 3 раза (рис. 2). Однако толщину стенки профиля t нельзя чрезмерно уменьшать из-за опасности местной потери устойчивости, хотя толщина стандартных профилей рассчитана на возможность местной потери устойчивости и поэтому не требует проверки.

Большое достоинство замкнутых профилей заключается в возможности внутреннего заполнения твердеющим составом (бетоном), что превращает их в трубобетон, и это существенно повышает несущую способность, общую и местную устойчивость крепи. Трубный профиль целесообразно заполнять бетоном (раствором) после монтажа крепи, что на 25 – 35 % повышает его прочностные показатели и резко снижает вероятность общей и местной потери устойчивости.

В табл. 2 спецпрофили СВП сравниваются с наиболее эффективными квадратными коробчатыми. Для каждого типоразмера спецпрофиля СВП подобраны два трубчатых – один соответствует площади A поперечного сечения спецпрофиля СВП, другой – моменту сопротивления изгибу W_x.

Квадратный трубчатый профиль существенно эффективнее спецпрофиля СВП по изгибу и кручению. Так, замена спецпрофиля СВП квадратной трубой повышает эффективность крепи по изгибающим нагрузкам в 1,5 – 2 раза, по кручению – в 16 – 27 раз, при этом расход металла сокращается в 1,25 – 1,6 раза.

Применение рамных крепей из квадратного замкнутого профиля позволит значительно снизить массу каждой рамы. Например, арочная крепь площадью поперечного сечения 14,5 м^2 из профиля СВП 33 весит 333 кг (без учета податливых элементов, болтов, межрамных стяжек), а такая же арка из квадратного замкнутого профиля будет иметь массу 222 кг. Таким образом, при установке крепи с шагом 0,5 м экономия металла на 1 км выработки составит 222 т.

Заполнение внутренней полости профиля твердеющим материалом позволит, кроме существенного повышения несущей способности и устойчивости, в 2 раза уменьшить скорость коррозии из-за невозможности попадания кислорода внутрь коробчатого профиля.

Выводы. Спецпрофили СВП имеют самую низкую эффективность по изгибу и кручению в сравнении с остальными профилями металлопроката.

Наиболее технологичен и эффективен для использования в рамных крепях замкнутый тонкостенный профиль квадратного очертания, который по изгибу превышает спецпрофили СВП в 1,5 – 2 раза, а по кручению – в 16 – 27 раз (см. табл. 2).

Заполнение коробчатого профиля крепи твердеющим материалом увеличивает несущую способ-

Таблица 2

Типоразмер профиля	Площадь поперечного сечения A, см^2	Момент сопротивления		Критерий эффективности			
				по изгибу		по кручению	
		W_x, см^3	$W_к$, см^3	$k_{изг}$	$k_1 = k_{изг}/k_{СВП}$	$k_к$	$k_2 = k_к/k_{СВП}$
СВП 14	18,70	40,70	4,55	0,50	1,00	0,06	1,00
Труба 120×120×4	18,15	67,05	104,0	0,87	1,73	1,34	22,4
Труба 110×110×3	12,61	43,33	66,82	0,97	1,94	1,49	24,9
СВП 17	21,73	50,30	5,88	0,50	1,00	0,06	1,00
Труба 140×140×4	21,35	93,09	143,7	0,94	1,89	1,46	25,1
Труба 120×120×3	13,81	52,06	80,1	1,01	2,03	1,56	26,9
СВП 19	24,44	61,30	7,74	0,51	1,00	0,06	1,00
Труба 160×160×4	24,55	123,4	189,8	1,01	1,99	1,56	24,4
Труба 120×120×4	18,15	67,05	104,1	0,87	1,70	1,35	21,0
СВП 22	27,91	74,80	9,9	0,51	1,00	0,07	1,00
Труба 160×160×4	24,55	123,4	189,8	1,01	2,00	1,56	23,3
Труба 120×120×5	22,36	80,91	126,7	0,77	1,51	1,2	17,9
СВП 27	34,37	100,2	15,98	0,50	1,00	0,08	1,00
Труба 180×180×5	34,36	192,99	297,7	0,96	1,92	1,48	18,5
Труба 150×150×4	22,95	107,71	166,0	0,98	1,96	1,51	18,9
СВП 33	42,53	133,50	23,71	0,48	1,00	0,09	1,00
Труба 200×200×6	45,63	283,27	438,1	0,92	1,91	1,42	16,7
Труба 150×150×5	28,36	130,95	203,2	0,87	1,81	1,35	15,8

ность еще на 25 – 35 %, исключает возможность его общей и местной потери устойчивости, в 2 раза уменьшает скорость коррозии металла.

Использование коробчатого профиля для горной крепи позволит сократить расход металла в 1,25 – 1,6 раза при сохранении той же несущей способности рамы, снизить массу отдельных ее элементов, трудоемкость, себестоимость и время возведения крепи, увеличить скорость проведения и устойчивость выработок.

Исследованиями доказано, что необходимо отказаться от конструктивно и экономически неэффективного спецпрофиля и вместо него перейти на изготовление рамных крепей горных выработок из коробчатого профиля квадратной формы.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Литвинский Г. Г.* Стальные рамные крепи горных выработок / Г. Г. Литвинский, Г. И. Гайко, Н. И. Кулдыркаев. – К.: Техника, 1999. – 216 с.
2. *Каретников В. Н.* Крепление капитальных и подготовительных горных выработок. Справочник / В. Н. Каретников, В. Б. Нуждихин, А. Г. Клейменов. – М.: Недра, 1989. – 571 с.
3. *Зигель Ф. С.* Арочные крепи из новых профилей проката / Ф. С. Зигель, В. Ф. Компаниец // Уголь Украины. – 1992. – № 10. – С. 59 – 61.
4. *Тимошенко С. П.* Механика материалов / С. П. Тимошенко, Дж. Гере. – М.: Мир, 1976. – 669 с.

EEP (ELEKTRO-ELEKTRONIK PRANJIC, ГЕРМАНИЯ) – ЭФФЕКТИВНАЯ АВТОМАТИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ ПОДЗЕМНЫМ ДОБЫЧНЫМ УЧАСТКОМ

EEP – Электро-Электроник Пранич (Гельзенкирхен, Германия), основанная в 1989 г., на протяжении более двух десятилетий – надежный партнер для эффективной автоматизации процессов подземной добычи угля в горнодобывающей промышленности.

Продукция EEP охватывает автоматическую систему электрогидравлического управления лавой, включая весь необходимый пакет управляющей гидравлики, аппаратуру эффективной обработки и передачи данных, передовые технологии безопасности и комплексную систему управления машинами, механизмами и установками подземного добычного участка.

PRA_matic® Systeme

«Сердцем» интеллектуальных и инновационных продуктов является PRA_matic® – полная система электрогидравлического управления лавой для подземной добычи угля. Разработанные нами ранее искробезопасные контроллеры PRA_matic® обеспечивают точное и надежное электрогидравлическое управление механизированной крепью с выполнением до 24 функций в автоматическом режиме.

Для контроля и управления всех других машин, механизмов и установок добычного участка фирма предлагает мощные, искробезопасные, программируемые логические контроллеры ПЛК (SPS) и устройства сопряжения.

Искробезопасные системы ПЛК (SPS), благодаря модульной конструкции, обеспечивают простую и быструю реализацию любых пожеланий Заказчика. Их можно использовать для управления стругом, очистным комбайном, ленточными и скребковыми конвейерами, манипуляторами, насосной и фильтрационной станциями и другими системами энергообеспечения и безопасности под землей.

Технологии и процессы подземной добычи угля – основные направления работы предприятия. Система PRA_matic® постоянно совершенствуется и адаптируется к потребностям Заказчика. Мы готовы обучать персонал как у нас на предприятии, так и по месту нахождения Заказчика. Обслуживание систем возможно также непосредственно на шахте.

В настоящее время более 50 полностью автоматизированных лав, оснащенных системами управления EEP, используются во многих странах. Например, пять струговых лав на шахте «Иббенбюрен» в Германии работают по автоматической, «безлюдной» технологии. Данный опыт применения такой технологии успешно воплощен на высокопроизводительных шахтах Китая в струговых и комбайновых лавах.

Уважаемые Партнеры и Коллеги!

От имени нашей фирмы мы поздравляем Вас с наступающим Новым Годом и светлым праздником Рождества!

Сердечно желаем Вам хороших проектов, успехов в бизнесе и счастья в личной жизни!

Компания EEP со своей стороны готова сделать все возможное, чтобы использование продукции нашей фирмы на Ваших предприятиях облегчило труд и сделало бы Ваш бизнес еще более прибыльным.

Президент Круно Пранич
Генеральный директор Андреас Пранич
Коммерческий директор Сергей Пробст