

А.П. Иванов, Донбаський державний технічний університет

І.А. Иванова, Донбаський державний технічний університет

ЗАЛИШКОВІ НАПРУГИ В ШАХТНИХ ПРОФІЛЯХ СВП

А.П. Иванов, І.А. Иванова

Залишкові напруги в шахтних профілях СВП

У статті наведено результати досліджень розподілу залишкових напруг у шахтних профілях після плющення.

Ключові слова: залишкові напруги, шахтний профіль, тензометрія.

А.П. Иванов, И.А. Иванова

Остаточные напряжения в шахтных профилях СВП

Приведены результаты исследований распределения остаточных напряжений в шахтных профилях после прокатки.

Ключевые слова: остаточные напряжения, шахтный профиль, тензометрия.

Залишкові напруги відіграють значну роль у природі й техніці, як позитивну (у струнних інструментах, у довгопрогінних мостах, будівельних конструкціях і тощо), так і негативну. На жаль, негативну роль вони виконують частіше, ніж позитивну – при руйнуванні трубопроводів, розвитку тріщин у лобовому стеклі автомобілей тощо).

Залишкові напруги практично завжди виникають у процесах литва, кування, прокатки, зварювання й особливо термообробки, а також при жорсткому з'єднанні різних матеріалів. Наразі не існує нормативних документів, які б дозволяли враховувати залишкові напруги при розрахунку конструкцій на міцність.

Утворення залишкових напруг відбувається по-різному чином. В основі їх виникнення звичайно лежать незворотні об'ємні зміни в матеріалі. Одним з найтипівіших процесів є виникнення залишкових напруг у результаті

попередньої пластичної деформації. Часто це деформація спричиняється нагріванням або охолодженням тіла.

Досвід експлуатації конструкцій у різних галузях техніки, а також результати численних експериментів показують, що залишкові напруги істотно впливають на надійність і довговічність техніки, на технологічність і металоємність конструкцій, на норми витрати металу й на виробництво одиниці продукції.

Розробка методів вимірювання залишкових напруг наразі є актуальним завданням. За останні десятиріччя в результаті зусиль учених Росії, України, США, Німеччини, Угорщини та інших країн становище з вимірювальними методами і засобами істотно покращало й почалося експериментальне вивчення напружених станів. Але багато ще не зроблено: для отримання загальних висновків про вплив залишкових напруг на міцність конструкції належить досліджувати напруги в дуже великому обсягу матеріалів і виробів.

Основні, сучасні експериментальні методи не тільки забезпечують достовірне виявлення залишкових напруг у металопродукції, а й дозволяють кількісно визначати їх рівень і розподіл.

На сьогоднішній день існують такі експериментальні методи вимірювання та аналізу залишкових напруг:

- 1) руйнівальні;
- 2) малоруйнівальні;
- 3) неруйнівальні;
- 4) непрямі методи.

Руйнівальні методи засновані на тому припущенні, що розрізання й подовження частини деталі із залишковими напругами еквівалентне додатку до частини деталі, яка залишилася (на поверхнях, що знов з'явилися), напруг зворотного знаку, рівних по абсолютній величині залишковим.

Малоруйнівальні методи засновані на використуванні поверхневого шару (припуска на механічну обробку) для порівняльного контролю

залишкових напруг шляхом виконання на поверхні отворів, пропилів, стовпчиків і контролю деформації в зоні руйнування.

Неруйнувальні методи – рентгенівські, акустичні (ультразвукові), голографічні, магнітошумові [1–3].

Непрямі методи (іноді їх називають порівняльними) складають значну групу неруйнувальних методів, безпосередньо не пов'язаних з такими неруйнувальними, як рентгенівські та ультразвукові. На відміну від останніх непрямі методи звичайно дають можливість лише якісно оцінити залишкові напруги. Разом з тим більшість непрямих методів використовуються для порівняльних оцінок залишкових напруг при серійному й масовому виробництві шляхом експрес-аналізу.

Будь-який з експериментальних методів вимірювання залишкових напруг має цілком певну сферу використання, у якій він максимально ефективний. Найбільш універсальними є механічна тензометрія, рентгенівські й ультразвукові методи.

Метою цього дослідження було визначення залишкових напруг і їх розподіл по перетину елементів конструкцій на прикладі шахтних профілів.

Для дослідження залишкових напруг у прокатних шахтних профілях застосували метод розрізання, який дозволяє з достатньо високою точністю визначити розподіл залишкових напруг по перетину профілю. Як випробувальні зразки було взято прокатні шахтні профілі типу СВІ нормальної поставки, що виробляються на стані 600 ВАТ Алчевського металургійного комбінату.

Для визначення істинної геометрії профілів перед початком експерименту була виміряна вся товщина даних профілів. Результати вимірювання порівняли з товщиною цих самих профілів по сортаменту (табл. 1).

Порівняння товщини елементів профілів СВП
при поставці з сортаментом

Елемент профілю		Профіль			
		СВП17	СВП22	СВП27	СВП33
Полка	Товщина по сортаменту	7,8	11,0	13,0	14,5
	Середня товщина елементу	8,96	11,26	13,15	14,75
	Середньоквадратичне відхилення	0,05	0,134	0,08	0,105
	Коефіцієнт варіації	0,57	1,19	0,63	0,85
Стінка зліва	Товщина по сортаменту	6,0	6,4	7,4	8,2
	Середня товщина елементу	5,73	6,82	7,12	7,71
	Середньоквадратичне відхилення	0,15	0,286	0,075	0,117
	Коефіцієнт варіації	2,62	3,93	1,05	1,51
Стінка справа	Товщина по сортаменту	6,0	6,4	7,4	8,2
	Середня товщина елементу	5,83	6,74	6,95	7,95
	Середньоквадратичне відхилення	0,08	0,055	0,055	0,105
	Коефіцієнт варіації	1,40	0,81	0,79	1,32
Рebro	Товщина по сортаменту	23,0	25,5	29,0	32,0
	Середня товщина елементу	23,13	25,06	29,17	32,1
	Середньоквадратичне відхилення	0,22	0,167	0,121	0,20
	Коефіцієнт варіації	0,97	0,66	0,41	0,62

Розташування датчиків було вибрано на зовнішній грані профілю в одному перетині. Схема розташування датчиків наведена на рис. 1.

Місця розташування тензодатчиків були оглянуті й встановлено відсутність на поверхні дефектів, таких як тріщини, заходи тощо. Такого роду дефекти можуть не тільки призвести до помилок у вимірюванні напруг, але й пошкодити тензодатчики.

Датчики були комутовані й підключені до реєструючої тензометричної системи СПТ-3. До складу її входять: блок дистанційного релейного перемикачання (БДРП), вимірювальний блок (БВ) і блок друку (БД). Схема підключення розглянута на рис. 2, де R_{Ai} – активні датчики, встановлені на досліджуваній балці, а R_K – компенсаційний датчик, встановлений поза балкою, але на такому ж матеріалі, з якого виготовлена балка.

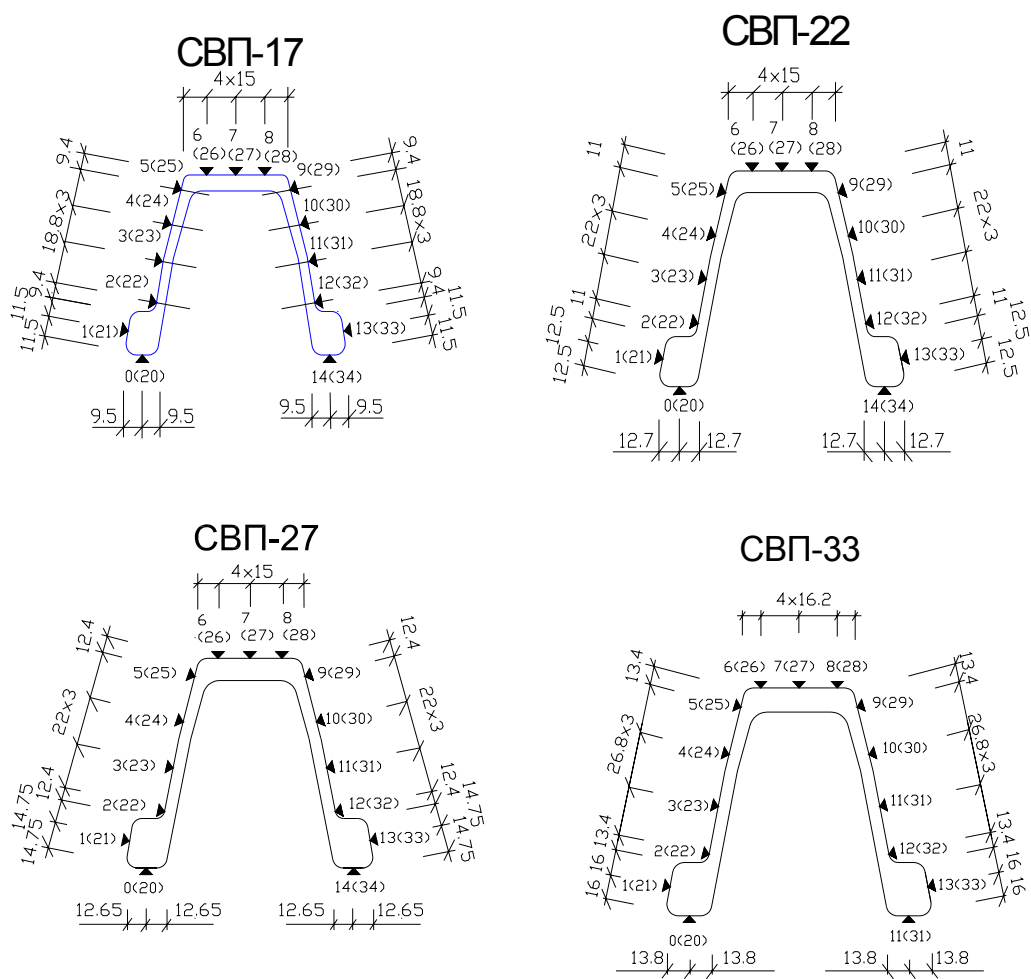


Рис. 1. Схеми розташування датчиків на профілях СВП (розміри в мм)

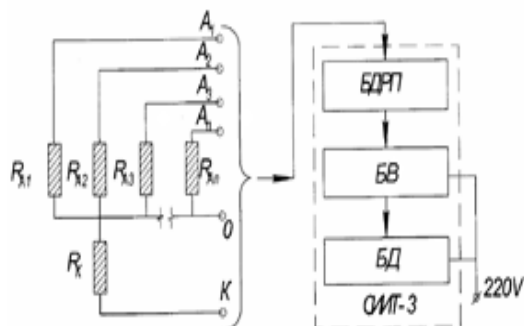


Рис. 2. Схема підключення тензорезисторів

Потім, після закріплення зразка на робочому місці, починали розрізання профілів. Вона здійснювалася за допомогою ручної пили по металу, так щоб не мінялися температура й напруги в місці розрізу зразка (рис. 3). Показання кожного тензодатчика знімалися п'ять разів.

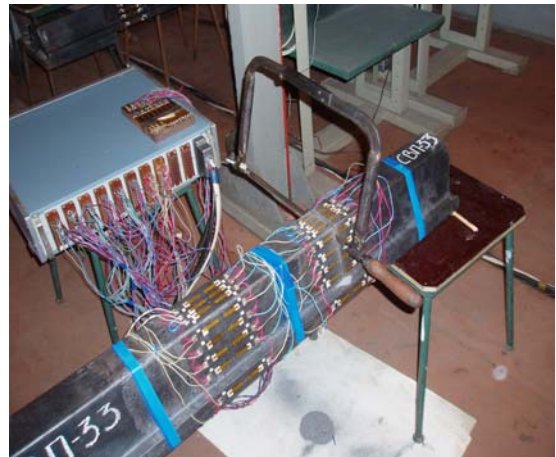
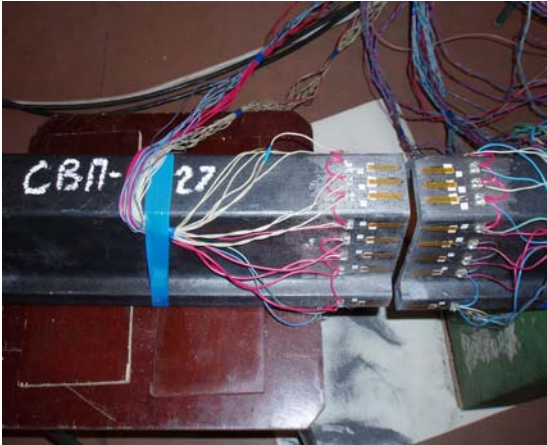


Рис. 3. Загальний вигляд профілей після розрізання

Нульовий відлік – відразу після закінчення різання (табл. 2), потім через 15 хвилин, через 30 хвилин і через 1 добу після закінчення різання. За наслідками знятих відліків були побудовані епюри напруг у всіх досліджуваних профілях (рис. 4).

Ціну розподілу шкали приладу визначали на лабораторному тарирувальному пристосуванні, що є консольною балкою змінного перетину із зоною чистого вигину і постійною деформацією по її довжині. На верхніх і нижніх волокнах балки наклеєні датчики, які при навантаженні балки працюють на розтягнення (R_3 і R_4) та на стиснення (R_1 и R_2) (рис. 5).

З часом внутрішні напруги після поперечного розрізання шахтного профілю змінюються. Відбувається релаксація, напруги стиснення збільшуються, а напруги розтягування зменшуються. Змінення напруг у різних елементах профілю відбувається наступним чином.

Показання датчиків відразу після закінчення
розрізання шахтних профілів СВП

№ п/п	Відліки по прибору СІТ-3, діл. прибору				№ п/п	Відліки по прибору СІТ-3, діл. прибору			
	СВП17	СВП22	СВП27	СВП33		СВП17	СВП22	СВП27	СВП33
0	+8,27	+15,79	+15,37	+1,85	20	-17,39	+30,62	-4,62	+15,37
1	+3,11	-29,95	+21,17	+4,24	21	-6,93	-6,38	-13,06	+58,00
2	+6,34	+15,41	+7,22	+23,27	22	-35,45	+1,39	-8,61	+30,58
3	+6,3	-19,07	+9,87	+20,24	23	-14,74	+6,26	+1,09	+60,61
4	-0,17	-22,09	+17,18	+31,29	24	-7,06	+6,55	-12,47	+56,49
5	-5,92	-35,24	-1,554	+18,27	25	-10,54	-10,33	-4,45	+24,19
6	-1,22	-12,56	+45,40	+47,75	26	-15,75	+8,32	-9,11	+24,11
7	+0,38	+2,9	+8,15	+5,54	27	+5,59	+22,85	-7,81	+31,12
8	+3,99	+13,4	+20,08	-9,28	28	-18,94	-12,43	-17,89	+18,27
9	+16,59	+9,0	+15,04	+23,48	29	+110,0	+1,93	+0,46	+0,55
10	-13,19	-24,61	+30,53	+23,69	30	+20,79	+87,44	+3,49	+11,05
11	-10,37	-16,93	+21,17	+14,15	31	+3,07	+57,5	+27,17	+37,25
12	-16,04	-5,59	+24,74	+30,16	32	+11,38	+26,75	+14,36	+14,74
13	-0,17	-0,84	+21,38	+33,39	33	+2,35	+9,74	-12,01	+2,98
14	-3,91	-23,56	+3,70	-3,86	34	+13,06	+16,63	+0,67	+3,74

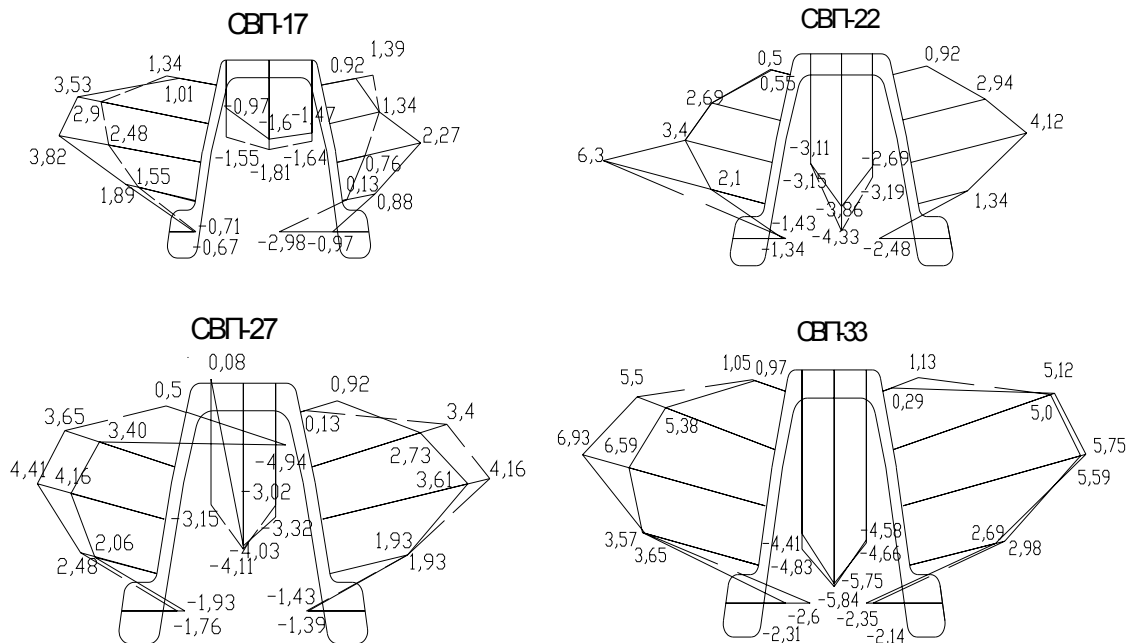


Рис. 4. Епюри напруг у шахтних профілях відразу після розрізання
у двох перетинах, МПа

————— — I різ
- - - - - II різ

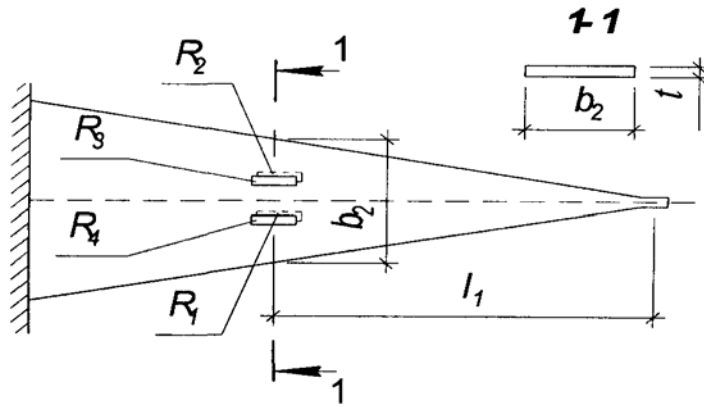


Рис. 5. Схема розміщення датчиків на тарирувальній бальці

Ребра. У правому ребрі профілів після 15 хвилин після розпилювання напруги стиснення збільшилися в 1,52 раза, а з лівого боку – у в 1,27.

По закінченні 30 хвилин – у 1,65 раза і в 1,42 раза, а через добу – у 2,4 рази й у 2,1 раз відповідно.

Полиця. У полиці стискаючі напруги з часом збільшуються як по краях, так і в центрі практично на одну величину, а через добу зменшуються, причому тільки в центрі. Як зміняться стискаючі напруги з часом у полиці наведено в табл. 3 на прикладі профілю СВП-17.

Таблиця 3

Змінення стискаючих напруг у полиці профілю СВП-17 з часом

	15 хвилин	30 хвилин	24 години
Край	1,24	1,3	1,8
Центр	1,16	1,25	0,9
Край	1,29	1,26	1,44

Стінка. Розтягуючі напруги в стінках так само змінюються з часом у місцях, що примикають до стислих зон. Результати наведено в табл. 4.

Таблиця 4

Змінення напруг у стінках профілю з плином часу на прикладі профілю СВП-17

№ точки	15 хв.	30 хв.	1 доба	№ точки	15 хв.	30 хв.	1 доба
5	0,79	0,72	0,19	9	0,70	0,65	0,47
4	0,42	0,87	0,67	10	0,69	0,65	0,40
3	0,90	0,96	1,01	11	0,68	0,65	1,06
2	0,88	0,8	0,46	12	0,62	0,32	0,09

Уся зміна напруг приведена у відносних одиницях порівняно з напругою після розпилування профілю.

Зміну напруг у цілому по всьому профілю можна побачити на епюрах напруг відразу після розпилу й через добу після розпилу на прикладі профілю СВП-17 (рис. 6).

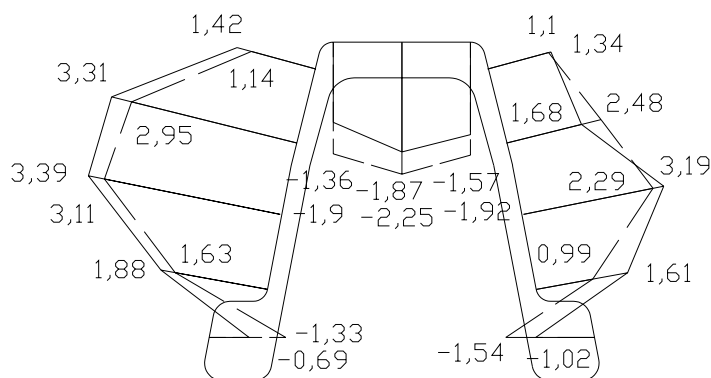


Рис. 6. Усереднені епюри напруг профілю СВП-17, МПа

————— — відразу після розпилу
- - - - - — через 1 добу після розпилу

У результаті дослідження одержано розподіли залишкових напруг по перетину шахтних профілів СВП. Визначено, що з часом вони міняють свої значення. Надалі необхідно провести аналогічні дослідження на інших прокатних профілях, які найбільше застосовуються в будівельних конструкціях.

Література

1. Чернышев Г. Н., Попов А. Л., Козинцев В. М., Пономарев И. Остаточные напряжения в деформируемых твердых телах. – М. : Машиностроение, 1996. – 396 с.
2. Касаткин Б. С., Кудрин А. Б., Лобанов Л. М. и др. Экспериментальные методы исследования деформаций и напряжений. – Киев : Техніка, 1981. – 415 с.
3. Экспериментальная механика / пер. с англ. под ред. Ш. Кобаяси. – М. : Мир, 1977. – 658 с.

A.P. Ivanov, I.A. Ivanova

Remaining tensions in the mine types SVP.

The results of researches of distributing of remaining tensions in mine types after rolling are resulted.

Key words: remaining tensions, mine type, tenzometry.

Відомості про авторів

Іванов Анатолій Порфирьович – кандидат технічних наук, доцент кафедри „Будівельні конструкції” Донбаського державного технічного університету.

Іванова Ірина Анатоліївна – студентка Донбаського державного технічного університету.