

О. М. БОНДАРЄВ, В. Л. ГОРОБЕЦЬ, С. В. МЯМЛІН, Є. О. ПИСЬМЕННИЙ,
І. Є. СКОГАРЕВ (ДІПТ), Д. В. ГОРОБЕЦЬ (ІТМ НАНУ та НКАУ, Дніпропетровськ)

ВИЗНАЧЕННЯ ЗАЛИШКОВИХ НАПРУЖЕНЬ У НАПІВРОБЛЕНИХ ОСЯХ ДЛЯ ЗАЛІЗНИЧНОГО РУХОМОГО СКЛАДУ

В статті проведено аналіз результатів порівняльних випробувань з визначення залишкових напружень у напівоброблених осях, виготовлених за різними технологіями, та зроблено висновки щодо перспективності та стабільності нової технології виготовлення напівоброблених осей.

В статье проведен анализ результатов сравнительных испытаний по определению остаточных напряжений в полуобработанных осях, изготовленных по разным технологиям, и сделаны выводы относительно перспективности и стабильности новой технологии изготовления полуобработанных осей.

In the article the analysis of comparative tests on determination of remaining tensions in the semitreated axles produced according to different technologies is conducted and the conclusions re. availability and stability of the new production technology for semitreated axles are done.

З розвитком металургійної промисловості України пов'язаний пошук нових технологій термообробки металів, які порівняно зі стандартними технологіями визначають більш швидкі та економічні способи виготовлення матеріалів із заданими властивостями. Так, на ВАТ «Дніпровський металургійний комбінат ім. Ф. Е. Дзержинського» проходить випробування нова, модернізована технологія виготовлення осей для рухомого складу залізниць. Якщо традиційна технологія включає в себе термообробку в режимі: «одинарна нормалізація та високий відпуск», то модернізована передбачає одинарну нормалізацію та регульоване охолодження (самовідпуск) у спеціальних колодязях уповільненого охолодження (температура укладки в колодязі 300...500 °С). Очевидно, пропонується технологія дозволяє не тільки досягти прискорення процесу виготовлення продукції, але також є ресурсозберігаючою, що є окремим цінним її аспектом. Така зміна технологічного процесу потребує перевірки не тільки макроструктури, механічних властивостей сталі, таких як: тимчасовий опір, границя текучості та витривалості, відносне подовження, звуження, але й визначення залишкових напружень, що є в осях, вироблених за новою технологією, та їх порівняння з осями, побудованими з використанням традиційної технології.

Оцінка рівнів залишкових напружень принципово важлива для відповідальних елементів екіпажної частини рухомого складу, внаслідок чого їх рівень нормується чинною керівною документацією [1, 2].

У відповідності до вищевказаного, за договором, укладеним між Дніпровським металургійним комбінатом ім. Ф. Е. Дзержинського та Дніпропетровським національним університетом залізничного транспорту ім. академіка В. Лазаряна, проведено комплексну науководослідну роботу з визначення залишкових напружень напівоброблених осей, виготовлених за різними технологіями.

З урахуванням похибок, які виникають при застосуванні непрямих методів визначення залишкових напружень [3, 4], було прийнято рішення щодо їх визначення механічним методом, заснованим на розрізанні металу та звільненні його від залишкових напружень. Залишкові напруження оцінювалися шляхом порівняння напружень в дослідних площинах, розташованих на поверхні шийок та підступичних зон осей, до та після механічної обробки.

Випробуванням піддавалися осі з однієї плавки № 712715 марки F, виробництва ВАТ «Дніпровський металургійний комбінат ім. Ф. Е. Дзержинського», що пройшли плавку при температурі її завершення не нижче 600 °С у відповідності до переліку, наведеного нижче:

- осі з термообробкою в режимі: одинарна нормалізація та високий відпуск (стандартна технологія) – 2 одиниці;
- осі з термообробкою в режимі: одинарна нормалізація та регульоване охолодження (самовідпуск) у спеціальних колодязях уповільненого охолодження (температура укладки в колодязі 300...500 °С) – 2 одиниці.

Загальний вигляд робочої зони з розташуванням в ній напівосей, обладнаних тензодатчиками, наведено на рис. 1.



Рис. 1. Загальний вигляд робочої зони для проведення випробувань напівосей з вимірювання залишкових напружень

Технологічні дані, що стосуються виробництва профільних заготовок для осей плавки 712715 F, наведено нижче. Хімічний склад сталі дослідної плавки наведено у табл. 1.

Таблиця 1

Хімічний склад сталі плавки 712715 F

Етап	Плавочний	За стандартом М101
C	0,5	0,45...0,59
Mn	0,83	0,60...0,90
Si	0,20	min 0,15
S	0,020	< 0,050
P	0,016	< 0,045
Al	0,030	

Макроструктура вихідних осьових заготовок була задовільною та відповідала вимогам нормативної документації, та наведена у табл. 2. Механічні властивості сталі плавки № 712715, які наведено у табл. 3, відповідають вимогам стандарту М101.

Умовні номери осей, які використовувалися для проведення усіх випробувань, наведено у табл. 4.

Всі дослідні осі були механічно розділені на половини (напівосі). З одних половин були виготовлені зразки для інших видів випробувань, а решта оснащувалась вимірювальними датчиками (тензорезисторами). Після завершення вимірювань існуючих станів напружено-деформованого стану у точках на поверхнях осей з ни-

Таблиця 2

Макроструктура вихідної осьової заготовки 712715 F

Показник	Бал
Точкова неоднорідність	2/2
Центральна пористість	2/2
Ліквацийний квадрат	0/0
Загальна п'ятниста ліквация	0/0
Підусадочна ліквация	0/0

Таблиця 3

Механічні властивості сталі плавки № 712715 F

№ профільних заготовок	485630	485697	Норма
Тимчасовий опір, Н/мм ²	631	667	608
Границя текучості, Н/мм ²	348	363	345
Відносне подовження, %	28	28	22
Звуження, %	51	52	37
Примітки	Одинарна нормалізація та відпуск	Одинарна нормалізація та регульоване охолодження в спеціальних колодязях уповільненого охолодження	

Таблиця 4

Номери напівоброблених осей, виготовлених за різними технологіями, з якими проводилися випробування з визначення залишкового напруження

Номер плавки	Одинарна нормалізація та відпуск	Одинарна нормалізація та регульоване охолодження в спеціальних колодязях уповільненого охолодження
712715	485623	485687
	485629	485690

ми проводилась механічна обробка (фрезерування) повздовжнього та радіального вирізів матеріалу навколо точок розташування тензорезисторів завглибшки до 70 мм. При цьому були витримані температурні параметри (нагрів до 80 °С), який забезпечує подальшу працездатність тензорезисторів.

З метою обґрунтування параметрів вирізань площадок було проведено розрахунок їх напружено-деформованого стану. Вихідні дані та результати розрахунку наведені на рис. 2 – 5. Як видно з рис. 5, прийняті параметри площадок дозволяють уникнути небажаного впливу напружень в основному матеріалі конструкції на напруження по верхній площині вирізаного елемента.

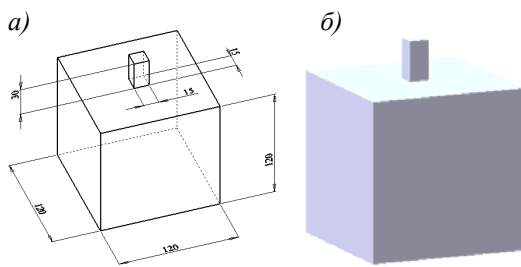


Рис. 2. Геометрична модель:
а) розміри; б) загальний вид

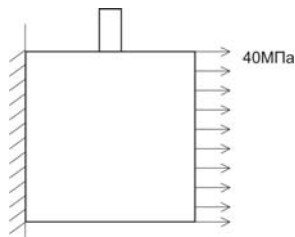
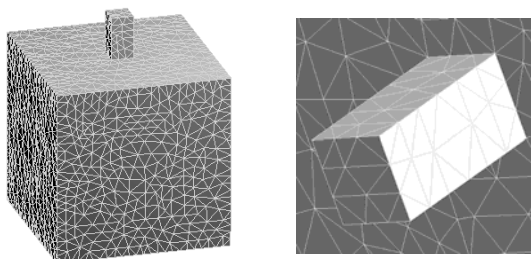


Рис. 3. Розрахункова схема

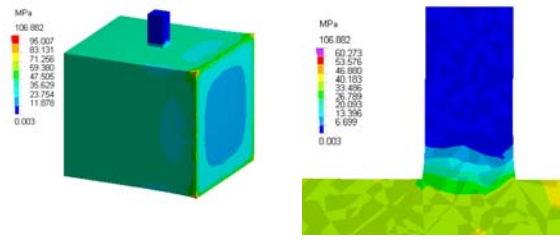


а) загальний вид б) вид 1

Рис. 4. Розбивка скінченно-елементної моделі

Вид напівосей після проточок з вибрання металу навколо точок вимірювання деформацій наведено на рис. 6а, 6б.

Після виконання відповідних вирізів матеріалу навколо точок з тензорезисторами на пове-



а) загальний вид б) вид 1

Рис. 5. Напружено-деформований стан площадки

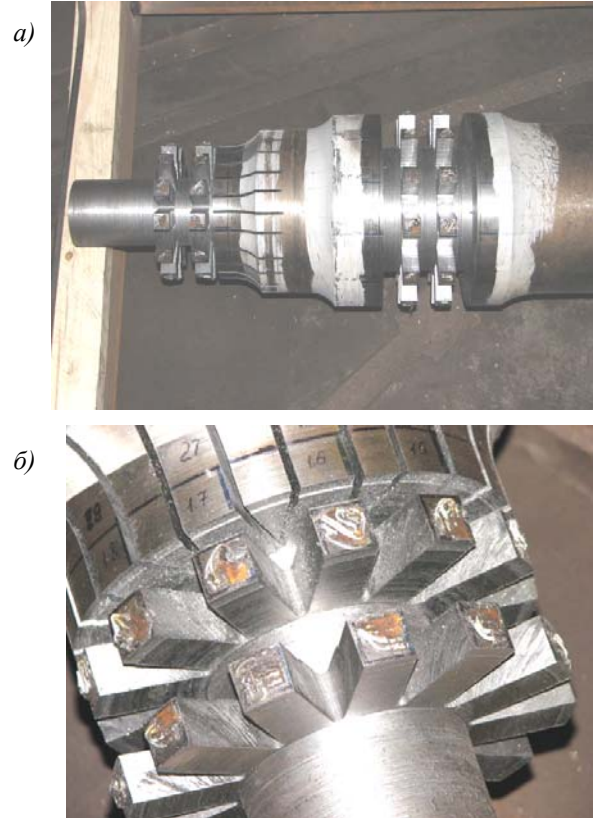


Рис. 6: а) Вид напівосі після проточок з вибрання металу; б) Наближений вид напівосі після проточок з вибрання металу

рхні шийок та підступиць проводилося повторне вимірювання напружено-деформованого стану. Далі проводилася обробка результатів вимірювань з визначення залишкових деформацій та відповідних їм залишкових напружень.

Кількість площадок для проведення випробувань з оцінки залишкових напружень в перерахунку на половину однієї осі складає 48 одиниць. Загальна кількість точок, в яких вимірювалися залишкові деформації згідно положень Програми та методики, складала 192 одиниці.

Нижче на рис. 7, 8 наведено схеми та види напівосей з розташованими на них тензорезисторами. Тензорезистори базую 5 мм наклеювалися на бічній поверхні шийки та підступиці.

- математичне очікування залишкових напружень;
- стандартне відхилення величини залишкових напружень.

Вказані дані наведено в табл. 5.



Рис. 10. Загальний вигляд напівосі з підключеними вимірювальними пристроями

Таблиця 5

Статистичні результати оцінки залишкових напружень

№ напів-осі	Зона вимірювання	Напрямок датчиків	Математичне очікування залишкових напружень, МПа	Стандартне відхилення залишкових напружень, МПа
485687*	шийка	попереч.	-6,40	6,78
		поздовж.	-50,31	8,77
		похилий	-29,56	4,50
	підступична частина	попереч.	-5,84	6,59
		поздовж.	-30,02	4,70
		похилий	-21,07	3,26
485690*	шийка	попереч.	-5,25	7,16
		поздовж.	-4,67	5,53
		похилий	-10,63	4,17
	підступична частина	попереч.	-11,19	7,94
		поздовж.	-40,07	11,96
		похилий	-27,07	4,44
485623	шийка	попереч.	-7,46	8,39
		поздовж.	10,70	4,87
		похилий	0,58	2,51
	підступична частина	попереч.	3,50	5,73
		поздовж.	-10,11	6,52
		похилий	3,50	8,60
485629	шийка	попереч.	-4,77	6,25
		поздовж.	-8,56	3,39
		похилий	-11,41	5,00
	підступична частина	попереч.	-16,02	20,95
		поздовж.	-24,51	19,46
		похилий	-16,08	3,46

* примітка: термообробку виконано за новою технологією.

З метою визначення розподілу головних напружень в шийці та підступичній частинах на-

півосей зроблено відповідний аналіз їх значень. При цьому слід зауважити, що за технічними умовами проведення випробувань датчики, які складають розетки деформацій, було розташовано не в безпосередній близькості, а на двох достатньо близьких одне до одного поясах.

Вказані результати зведено у табл. 6.

Таблиця 6

Орієнтовні значення статистичних характеристик головних напружень в об'єктах випробувань

№ напів-осі	Зона вимірювання	Математичне очікування головних залишкових напружень, МПа	Стандартне відхилення головних залишкових напружень, МПа	Максимальні значення головних залишкових напружень з довірчою ймовірністю 0,95, МПа
485687*	шийка	-5,72	7,45	9,18
	підступична частина	-5,08	6,59	8,1
485690*	шийка	0,04	4,39	8,82
	підступична частина	-6,74	7,23	7,72
485623	шийка	10,52	4,12	18,76
	підступична частина	7,88	8,88	25,64
485629	шийка	-6,79	1,51	-3,77
	підступична частина	-1,29	12,15	23,01

* примітка: термообробку виконано за новою технологією.

Висновки

Аналіз результатів робіт з визначення залишкових напружень дозволяє зробити наступні висновки:

1. Залишкові напруження, які співпадають із напрямком напружень від дії основних навантажень (паралельно поздовжнім осям осей), є стискаючими. При цьому осі, виготовлені за технологією нормалізації з регульованим охолодженням, дають більш стабільні результати, ніж ті, що пройшли термообробку за стандартною технологією.

2. Максимальні значення напружень розтягання діють у напрямку, наближеному до поперечного (тобто тому, що діє вздовж периметру поперечного перерізу осі). Осі, виготовлені за новою технологією, дають при цьому стабільний статистичний результат, на відміну від

осей, виготовлених за стандартною технологією (розсіювання результатів 4...25 МПа).

3. За отриманими результатами величин залишкових напружень технологію нормалізації з регульованим охолодженням слід вважати більш вдалою, ніж традиційна термообробка.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. ГОСТ 30272–96. Оси черновые (заготовки профильные) для подвижного состава железных дорог колеи 1520 мм [Текст]. – М: Госстандарт РФ, 1996. – 29 с.
2. Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамо-

ходных) [Текст]. – М: ГосНИИВ-ВНИИЖТ, 1983. – 260 с.

3. Гуца, О. И. Измерение остаточных напряжений в сварных соединениях без разрушения [Текст] / О. И. Гуца, В. К. Лебедев // Автоматическая сварка. – 1969. – № 1. – С. 42-44.
4. Орехов, Г. Т. Определение остаточных сварочных напряжений магнитоупругим методом [Текст] / Г. Т. Орехов // Автоматическая сварка. – 1974. – № 4. – С. 30-32.

Надійшла до редколегії 11.03.2010.

Прийнята до друку 24.03.2010.