

Дніпродзержинський державний технічний університет

**АНАЛІЗ ФОРМУЛ ДЛЯ РОЗРАХУНКУ РОЗШИРЕННЯ
ПРИ ПРОКАТУВАННІ В РОЗРІЗНОМУ КУТОВОМУ КАЛІБРІ**

Вступ. При прокатці профілів кутової форми велике значення для проектування раціональних калібровок має точність визначення формозміни в першому фасонному калібрі. Значною мірою це відноситься до питання про заповнення гребеня першого формуючого калібру, тому що від цього залежить якість виконання вершини готового профілю.

Важливість цього питання відзначається в багатьох літературних джерелах, присвячених дослідженню деформованого стану при прокатці кутових профілів. Однак дослідження впливу різних факторів на величину коефіцієнтів деформації при прокатці в перших формуючих кутових калібрах дотепер практично не були проведені (за виключенням деяких дослідників, наприклад, Н.Меца [1], М.М.Штоди [2] і так далі).

Постановка задачі. Більшість дослідників рекомендують при розрахунках розширення в перших формуючих кутових калібрах використовувати методику приведеної штаби, проте правильність такого підходу ніким не перевірена. Для такої перевірки необхідно виконати порівняння розширення, отриманого за результатами розрахунку при використанні різних методик, з експериментальними даними. При цьому перелік відомих параметрів осередку деформації повинен бути достатнім для виконання розрахунків за будь-якою з методик. Таким вимогам повністю відповідають експериментальні дані роботи [2] (табл.1).

Таблиця 1 - Результати експериментальних досліджень

№ досліджу	Заготовка		Штаба після прокатування					
	H ₀ , мм	B ₀ , мм	H ₁ , мм	b ₁ , мм	h ₁ , мм	α, град.	D _в , мм	β
1	34,8	45,5	32,3	47,2	31,05	12,995	260	1,037
2	35,2	45,2	33,15	46,8	31,15	49,399	260	1,035
3	34,85	45,25	32,8	47	29,9	57,529	260	1,039
4	35,1	45,2	26,6	53,6	19,9	40,481	260	1,186
5	34,8	45	26,2	53	19,85	44,331	260	1,178
6	34,78	45	26,6	53,6	19,75	45,634	260	1,191
7	35	45	32,5	47,6	29,3	34,077	260	1,058
8	35,3	45	32,25	47,7	29,25	31,357	260	1,06
9	35,2	45	32,2	46,8	29,65	38,367	260	1,04
10	34,85	44,9	24,1	51	19,95	27,3	260	1,136
11	35,4	45,2	24,5	52,75	19,9	29,168	260	1,167
12	35,15	44,9	24,9	52,2	19,9	31,759	260	1,163
13	35	45	32,3	47,2	29,55	66,501	251	1,049
14	35	45	32,3	46,9	29,5	66,501	251	1,042
15	35,2	45,2	32,4	47,3	29,4	68,405	251	1,046
16	34,5	45,25	26,1	52,6	20,7	53,815	251	1,162
17	34,8	45	26,1	52,575	20,45	54,703	251	1,168
18	34,8	45	25,8	52,45	20,75	52,679	251	1,166
19	34,7	45,2	32,1	47,2	29,25	37,942	251	1,044
20	34,75	44,9	32,1	47	29,5	36,607	251	1,047
21	34	45,2	31,8	46,9	29,1	41,987	251	1,038
22	35	44,8	24,9	52,45	19,95	30,215	251	1,171
23	35	45,1	25,6	52,7	19,8	32,089	251	1,169
24	35,2	44,8	25,1	53,05	19,15	33,616	251	1,184

Результати роботи. Для перевірки обираємо наступні методики:

– Зібеля [3]:

$$\Delta b_3 = 0,45 \cdot \sqrt{\Delta h \cdot R_g} \frac{\Delta h}{h_0}, \quad (1)$$

де Δh - обтиснення по полиці профілю (без урахування обтиснення по гребеню);

R_g – радіус верхнього валка по горизонтальній дільниці;

h_0 – висота заготовки;

– Бахтінова [4]:

$$\Delta b_\sigma = 1,15 \cdot \frac{\Delta h}{2 \cdot h_0} \cdot \left(\sqrt{\Delta h \cdot R_g} - \frac{\Delta h}{2 \cdot f} \right), \quad (2)$$

де f - коефіцієнт тертя в осередку деформації;

– Штернова [5]:

$$\Delta b_{uu} = k \cdot 1,15 \cdot \frac{\Delta h}{2 \cdot h_0} \cdot \left(\sqrt{\Delta h \cdot R_g} - \frac{\Delta h}{2 \cdot f} \right), \quad (3)$$

де k - коефіцієнт, що враховує вплив кута нахилу полиць [5];

– Єсіпова [6]:

$$\Delta b_e = 0,27 \cdot \sqrt{R_g \Delta h} \cdot \frac{\Delta h}{h_0} \cdot k_1 \cdot k_2, \quad (4)$$

де k_1 - коефіцієнт, що враховує збільшення розширення внаслідок впливу кута між полицями, визначається за графіком [5, рис. 15];

k_2 - коефіцієнт, що враховує нерівномірність деформації в калібрі; для першого по ходу прокатування профільного калібру (розрізного) $k_1 = 1, 2$; для інших калібрів $k_1 = 1$;

– Фурмана [7, 8]:

$$\Delta b_\sigma = k_1 \cdot 0,45 \cdot \sqrt{\Delta h \cdot R_g} \frac{\Delta h}{h_0}, \quad (5)$$

де k_1 - коефіцієнт, що враховує обтиснення та кут нахилу полиць калібру.

Розрахунок коефіцієнта k_1 виконуємо за експериментальними формулами:

$$\text{при } \varepsilon \leq 20\% \quad k_1 = 0,0462 \alpha - 0,00166 \varepsilon \alpha + 0,0276 \varepsilon + 0,664;$$

$$\text{при } \varepsilon > 20\% \quad k_1 = 0,015 \alpha - 0,0001 \varepsilon \alpha + 0,0079 \varepsilon + 1,374,$$

де α - кут нахилу полиць калібру, град.;

ε - відносне обтиснення полиць профілю, %;

– Кочетова [9]:

$$\Delta b_\kappa = 1,15 \cdot \frac{\Delta h}{2 \cdot h_0} \cdot \left(\sqrt{\Delta h \cdot R_g} - \frac{\Delta h}{2 \cdot f} \right) + k_1 k_2 \frac{\ell_\sigma}{h_{\text{сер}}}, \quad (6)$$

де k_1 - коефіцієнт, що враховує розмір готового кутового профілю ($k_1 = 1, 2; 1,0$ та $0,8$ для великих, середніх і малих розмірів відповідно);

k_2 - коефіцієнт, що враховує ступінь обмеження розширення в калібрі (для закритого калібру $k_2 = 0,7-0,8$, для відкритого – $k_2 = 1$);

ℓ_{δ} - довжина осередку деформації приведеної штаби;

$h_{сер}$ - середня висота осередку деформації;

– Штоди [2]:

$$\beta = 0,742 + 0,218 \frac{h_0}{h_1} - 0,003 \frac{h_0}{H} + 0,408 \frac{C}{2 \cdot B_0} + 0,004 \frac{R_в}{h_1} + 0,001 \frac{R_н}{h_1} - 0,003 \frac{h_0}{B_0}, \quad (7)$$

де h_0/h_1 - відношення початкової товщини штаби до товщини полиці профілю;

h_0/H - відношення початкової товщини штаби до висоти гребеня калібра;

$C/2 \cdot B_0$ - відношення ширини основи гребеня калібра до ширини заготовки;

$R_в/h_1$ - відношення радіуса верхнього валка по полиці до товщини полиці профілю;

$R_н/h_1$ - відношення радіуса нижнього валка до товщини полиці профілю;

h_0/B_0 - відношення товщини заготовки до її ширини.

Для перевірки вірності розрахунків за обраними формулами (1)-(7) розраховуємо значення коефіцієнта розширення для умов, наведених в табл.1, та порівнюємо отримані значення з експериментальними даними.

Розраховуємо помилку для кожної точки експерименту:

$$\varepsilon_{\beta} = \frac{|\beta_e - \beta_p|}{\beta_e - 1} \cdot 100\%, \quad (8)$$

де β_e - експериментальне значення коефіцієнта розширення;

β_p - значення коефіцієнта розширення, що розраховане за однією з обраних методик.

Також розраховуємо середню помилку для кожної з методик:

$$\varepsilon_{\Sigma} = \frac{\sum_{i=1}^n \varepsilon_{\beta_i}}{n}, \quad (9)$$

де n - кількість дослідів;

ε_{β_i} - помилка для кожного дослідів, що розрахована за формулою (8).

Результати розрахунків заносимо до табл.2.

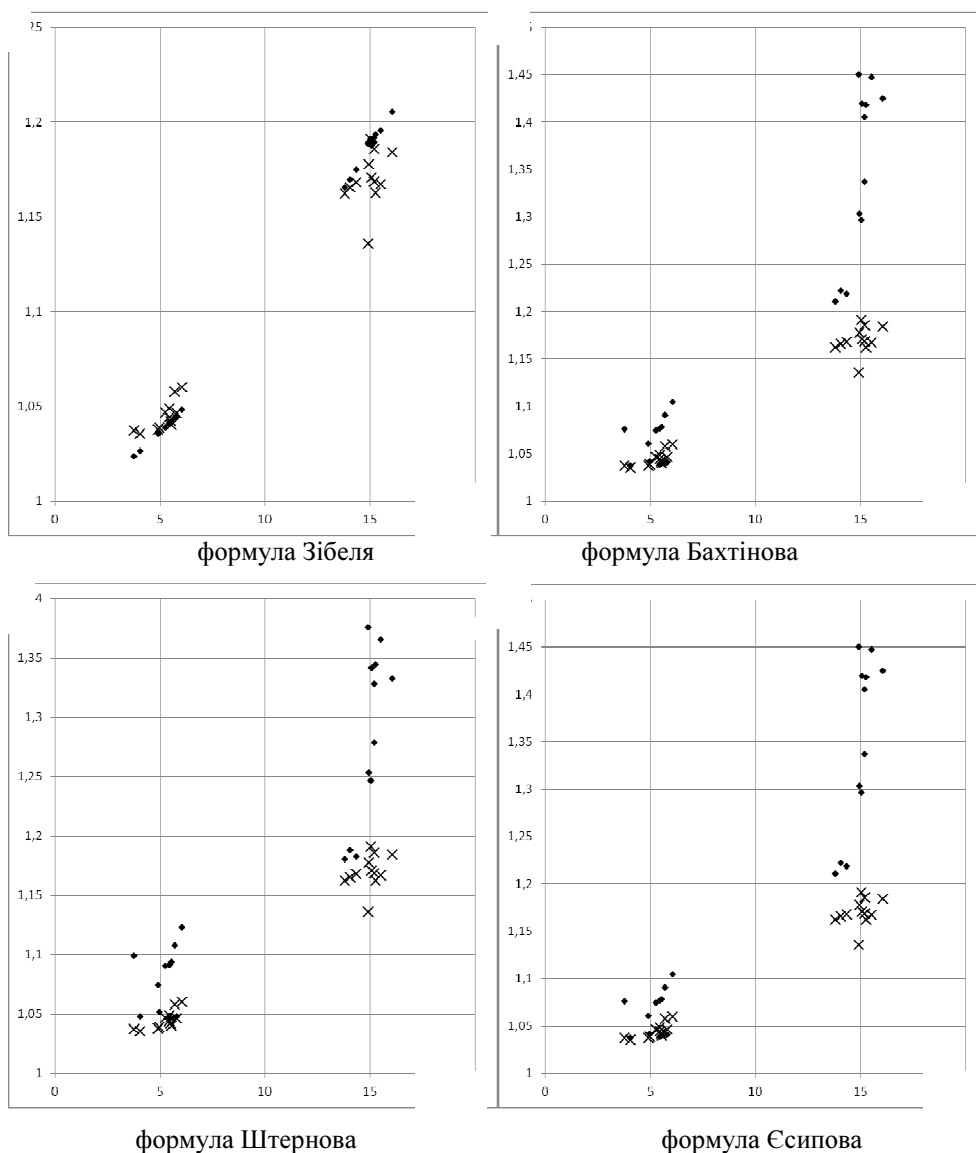
Таблиця 2 – Порівняння розрахункових даних із результатами експерименту

№ дос.	β_e	Зібель		Бахтінов		Штернов		Єсіпов		Фурман		Кочетов		Штода	
		$\beta^{зіб}$	$\varepsilon^{зіб}, \%$	$\beta^{бахт}$	$\varepsilon^{бахт}$	$\beta^ш$	$\varepsilon^ш$	$\beta^е$	$\varepsilon^е$	$\beta^ф$	$\varepsilon^ф$	$\beta^к$	$\varepsilon^к$	$\beta^{шт}$	$\varepsilon^{шт}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	1,037	1,024	37,02	1,022	40,882	1,099	165,43	1,076	103,59	1,031	16,279	1,034	9,3241	1,045	19,464
2	1,035	1,026	25,749	1,024	31,289	1,048	35,371	1,037	5,3264	1,02	44,303	1,037	3,2934	1,047	32,096
3	1,039	1,036	7,3488	1,032	17,708	1,052	33,356	1,042	8,1033	1,046	19,978	1,046	18,111	1,055	43,348
4	1,186	1,192	3,1248	1,114	38,632	1,279	49,931	1,337	81,403	1,031	83,305	1,143	23,237	1,197	5,8263
5	1,178	1,189	6,5312	1,114	36,004	1,253	42,547	1,304	70,85	1,076	57,484	1,142	19,871	1,195	9,5389
6	1,191	1,191	0,0828	1,114	40,147	1,247	29,187	1,297	55,276	1,092	51,882	1,143	25,067	1,197	2,8554
7	1,058	1,044	23,272	1,038	34,036	1,108	87,373	1,091	56,922	1,008	86,085	1,053	7,9834	1,041	29,287
8	1,06	1,048	19,891	1,041	32,142	1,123	105,2	1,105	74,414	1,015	75,813	1,056	6,3964	1,043	27,658
9	1,04	1,042	5,8787	1,037	8,3882	1,094	135,35	1,078	95,838	1,001	96,714	1,051	28,429	1,039	2,8003
10	1,136	1,189	38,813	1,114	16,454	1,376	176,84	1,45	231,19	1,11	19,007	1,142	4,6111	1,172	26,413
11	1,167	1,196	17,147	1,115	31,073	1,366	119,04	1,448	168,04	1,095	43,139	1,144	13,871	1,178	6,7245
12	1,163	1,194	19,081	1,115	29,271	1,345	111,92	1,418	156,89	1,066	59,105	1,144	11,543	1,176	8,1882

Продовження таблиці 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
13	1,049	1,041	16,701	1,035	28,22	1,046	4,8931	1,039	20,535	1,08	62,82	1,049	1,2463	1,046	6,2924
14	1,042	1,041	2,2185	1,035	15,926	1,047	11,396	1,039	6,7185	1,08	90,205	1,05	18,376	1,046	9,6252
15	1,046	1,044	4,7392	1,038	19,164	1,048	3,0217	1,041	12,588	1,091	95,362	1,052	12,656	1,049	4,3975
16	1,162	1,166	1,917	1,102	37,247	1,18	11,108	1,211	29,925	1,169	3,7415	1,129	20,835	1,16	1,5008
17	1,168	1,175	3,9562	1,105	37,35	1,183	8,5874	1,218	29,73	1,189	12,296	1,133	21,126	1,168	0,1451
18	1,166	1,17	2,4032	1,103	37,559	1,188	13,625	1,222	34,169	1,16	3,6339	1,13	21,325	1,162	1,9772
19	1,044	1,041	7,5792	1,035	20,359	1,091	106,66	1,076	72,673	1	99,176	1,05	12,358	1,052	17,628
20	1,047	1,039	16,9	1,034	27,751	1,09	93,466	1,075	60,215	1,002	95,02	1,048	2,688	1,05	7,6141
21	1,038	1,036	5,3979	1,031	16,44	1,074	96,923	1,06	60,521	1,008	77,849	1,045	20,548	1,049	29,335
22	1,171	1,188	9,9283	1,11	35,539	1,342	100,06	1,419	145,64	1,08	52,968	1,138	18,997	1,186	9,0018
23	1,169	1,189	12,31	1,11	34,529	1,328	94,694	1,405	140,46	1,062	63,478	1,139	17,749	1,189	12,126
24	1,184	1,206	11,622	1,116	37,069	1,333	80,675	1,425	130,74	1,049	73,124	1,145	21,054	1,206	11,638
		$\epsilon_{\text{сеп}}^{\text{зіб}}=12,5\%$		$\epsilon_{\text{сеп}}^{\text{бахт}}=29,3\%$		$\epsilon_{\text{сеп}}^{\text{шт}}=71,5\%$		$\epsilon_{\text{сеп}}^{\text{е}}=77,2\%$		$\epsilon_{\text{сеп}}^{\text{ф}}=57,6\%$		$\epsilon_{\text{сеп}}^{\text{к}}=15,0\%$		$\epsilon_{\text{сеп}}^{\text{шт}}=13,6\%$	

Для більшої наочності порівняння розрахункових значень із експериментальними даними представимо його у графічному вигляді (рис.1).



× – експериментальні дані; ● – результати розрахунку

Рисунок 1 – Графіки порівняння результатів розрахунку з експериментальними даними

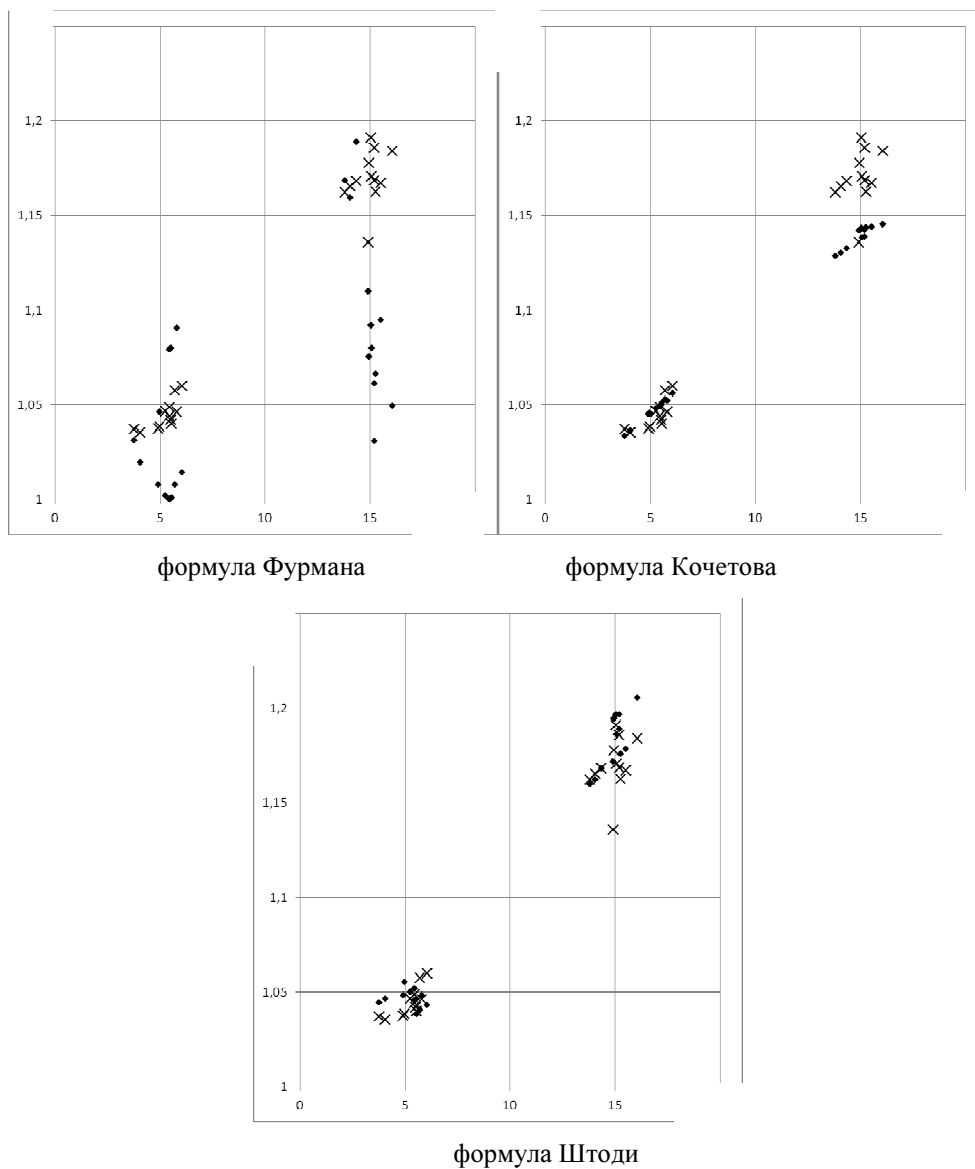


Рисунок 1, аркуш 2

Висновки. Таким чином, для розрахунку розширення в першому розрізному кутовому калібрі можна рекомендувати формули (1), (6) або (7). Не дивлячись на те, що перевірка методики (1) показала найбільшу точність, перевагу слід віддавати математичній моделі (7), що була розроблена в роботі [2], так як вона найбільш повно характеризує залежність коефіцієнта розширення від форми та розмірів осередку деформації для випадку прокатування прямокутної штаби в першому формуючому кутовому калібрі.

ЛІТЕРАТУРА

1. Мец Н. Горячая прокатка и калибровка валков / Н.Мец. - М.-Л.: Гостехиздат, 1937. - 332с.
2. Штода М.Н. Развитие методов расчета калибровок для прокатки угловых профилей различной конфигурации: дис. ... канд. техн. наук: 05.03.05 / Максим Николаевич Штода. – Днепропетровск, 2005. - 229с.
3. Хофф Х. Прокатка и калибровка / Х.Хофф, И.Даль; [пер. с нем.]. - М.: Металлургиздат, 1957. - 228с.

4. Бахтинов Б.П. Калибровка прокатных валков / Б.П.Бахтинов, М.М.Штернов. - М: Металлургиздат, 1953. - 784с.
5. Штернов М.М. Калибровка угловой стали / М.М.Штернов. - Свердловск: Металлургиздат, 1961. - 57с.
6. Есипов В.Д. Методика расчета калибровки валков для прокатки равнобокой угловой стали в открытых калибрах / В.Д.Есипов // Сталь. - 1968. - № 9. - С.816-818.
7. Фурман Я.Б. Уточненный метод расчета калибровки угловой стали / Я.Б.Фурман, В.И.Гридневский // Бюллетень ЦНТИИ черной металлургии. - 1970. - № 24(644). - С.28-30.
8. Фурман Я.Б. Рациональная калибровка неравнобокой угловой стали / Я.Б.Фурман, В.И.Гридневский // Сталь. - 1969. - № 9. - С.809-813.
9. Кочетов И.М. Калибровка валков с применением систем развернутых калибров / И.М.Кочетов. – М.: Металлургия, 1971. - 110с.

Надійшла до редколегії 20.04.2012.

УДК 621.771

ШТОДА М.М., к.т.н., доцент
ШТОДА І.І., зав. лабораторії
УСТИМЕНКО Р.С., студент

Дніпродзержинський державний технічний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ МЕТАЛУ ПРИ ПРОКАТУВАННІ В ЯЩИЧНИХ КАЛІБРАХ З РІЗНИМИ ВИПУСКАМИ

Вступ. Система прямокутних ящичних калібрів досить широко розповсюджена при прокатуванні профілів крупного та середнього перерізів. Така система використовується на блюмінгах, неперервно-заготовочних станах, обтискних станах тріо та в перших клітях сортових станів [1].

Постановка задачі. У даний час розроблено рекомендації для побудови ящичних калібрів, проте, як зазначають самі ж розробники, їх ніяким чином не треба розуміти як обов'язкові. Їх розроблено перш за все з метою допомогти починаючому калібрувальнику. У конкретних умовах того чи іншого стану оптимальних результатів можна досягти при розмірах калібру, які суттєво відрізняються від отриманих за рекомендованими формулами. Особливо обережно в цьому відношенні треба підходити до величини ухилу стінок і ширини калібру, які змінюються в кожному окремому випадку.

Тому дослідження деформованого стану металу при прокатуванні в ящичних калібрах з різними випусками досі є актуальними.

Для дослідження деформованого стану металу при прокатуванні в ящичних калібрах було обрано експериментальний метод сіток, який дозволяє швидко та з великою точністю отримати розподіл деформацій по поперечному перерізу штаби.

Результати роботи. Для виконання досліджень було відлито прямокутні свинцеві зразки з поперечним перерізом 20x30 мм. З метою отримання ущільненої структури металу литі заготовки прокатували на стані 180 лабораторії ДДТУ на розмір 18x22 мм, а потім на стругальному верстаті отримували остаточні розміри поперечного перерізу заготовок 16x20 мм. Довжина зразків була більше 100 мм. Далі кожен зразок було розрізано навпіл в поперечному напрямі та на одній з отриманих частин було нанесено сітку на поперечному перерізі з клітинкою зі стороною 1 мм. Потім обидві частини за допомогою легкоплавкого сплаву було з'єднано в єдиний зразок. Отримані таким чи-