

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ АКТИВНОЇ ХОЛОДНОЇ ДЕФОРМАЦІЇ НА ВЛАСТИВОСТІ АРМАТУРНОГО ПРОКАТУ В ПРОЦЕСІ ЙОГО ВИГОТОВЛЕННЯ

*Доц., канд. техн. наук Г.І. Перчун, аспірант А.О. Івченко
Український державний університет науки і технологій
м. Дніпро, Україна*

Світова практика виробництва арматурного прокату в мотках підвищеної міцності (класу 500 МПа і більше) сортаментом від 6,0 мм до 16,0 мм заснована на застосуванні зміцнення шляхом холодної деформації. Технології виробництва арматури класу А500-А600, які застосовувались раніше, базувалися на додатковому легуванні сталі або додатковій термічній обробці прокату і виявилися економічно або технічно (технологічно) неефективними. Так, наприклад, додаткове підвищення в сталях масового призначення вмісту таких легуючих елементів, як марганець, кремній, хром і ін. призводить до істотного подорожчання продукції і знижує її привабливість для будівельників. Термічне зміцнення шляхом перерваного гарту з самоовідпуском виявилось неприйнятним для виробництва арматури класу Ат500-Ат600 в мотках, тому що технологічні особливості (нерівномірність охолодження розкату водою до формування мотка, а також нерівномірність охолодження металу в різних горизонтах великовантажного мотка) призводять до того, що в одному мотку формується неоднорідність властивостей по довжині стрижня. Так безперервний стрижень, сформований в моток масою до 2,1 т, на різних ділянках по довжині має властивості міцності двох або трьох класів (А300, А400 і А500), що суперечить вимогам нормативної документації (ДСТУ 3760). У зв'язку з вищезазначеним, почали розвиватися нові технології виготовлення арматурного прокату в мотках, в яких для підвищення властивостей міцності застосовується холодна деформація. Ці технології набули поширення в ряді європейських країн, але поки не знайшли застосування в Україні.

Одна з технологій виробництва арматурного прокату класу міцності 500МПа в мотках заснована на використанні в якості сировини круглого прокату (катанки) з низьковуглецевої сталі з вихідною міцністю 250-300МПа, яка піддається волочінню з одночасним нанесенням періодичного профілю. Ця технологія реалізується в процесі перемотування прокату з мотка в моток на спеціальних лініях або волочильних станах. Залежно від розмірів вихідного прокату і кінцевих розмірів готової продукції вдається отримувати холоднодеформовану арматуру класу В500С (по вітчизняній термінології). Однак, дана продукція, маючи гарантовану міцність ($\sigma_{0,2} \geq 500$ МПа) не відповідає нормативним вимоги по пластичним характеристикам, таким, як відносне рівномірне подовження ($\delta_p \geq 2,0\%$) або повне відносне подовження при максимальному навантаженні ($\delta_{\max} \geq 2,5\%$).

Інша технологій виробництва арматурного прокату класу міцності 500МПа в мотках заснована на використанні в якості сировини прокату періодичного профілю з низьковуглецевої або низьколегованої сталі з вихідною міцністю в 350-450 МПа, яка піддається додатковій витяжці, тобто розтягуванню (stretching - процес). Ця технологія також реалізується в процесі перемотування прокату з мотка в моток на спеціальних лініях. Залежно від ступеня деформації (витяжки) вдається отримувати холоднодеформовану арматуру класу А500С (по вітчизняній термінології) з гарантованою міцністю ($\sigma_{0,2} \geq 500$ МПа) і більш високими пластичними характеристиками ($\delta_p \geq 4,0$; $\delta_{max} \geq 4,3\%$). Показники δ_p і δ_{max} прийнято в нових стандартах називати характеристиками деформативності [1, 2].

Застосування характеристик деформативності прописано в британському [1] і новому міждержавному [2] стандартах на арматурний прокат. Цим характеристикам надається важливе значення при виборі способів виробництва прокату і оцінці надійності експлуатації конструкцій. Для прокату міцності А400, А500 і А600 існує три категорії деформативності - стандартна ($\delta_{max} \geq 2,5\%$), підвищена ($\delta_{max} \geq 5,0\%$) і висока ($\delta_{max} \geq 7,5\%$). Практика застосування прокату в конструкціях особливого призначення або при будівництві в різних кліматичних регіонах враховує застосування прокату з різним рівнем пластичності. Прокат, що має пластичність $\delta_{max} \geq 7,5\%$ (високої категорії деформативності) вважається найнадійнішим і застосовується для будівництва в регіонах з підвищеною сейсмічною активністю.

З урахуванням останнього, експериментальне дослідження в роботі полягало у визначенні ступенів активної холодної деформації, яка забезпечує отримання арматурного прокату класу міцності 500-600 МПа з певним запасом міцності. Цей запас (перевищення) властивостей міцності буде знижений при наступних технологічних впливах циклічної деформації і температури з метою підвищення пластичності готової продукції.

Вплив активної холодної деформації на властивості арматури в процесі її волочіння з круглого прокату вивчали в виробничих умовах при виготовленні дослідних партій продукції на метизному переділі.

Дослідження проводили з використанням катанки діаметром 8,0 - 10,0 мм виробництва ВАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» з вуглецевої і низьколегованої марок сталей (табл.1).

Таблиця 1 - Хімічний склад катанки для виробництва холоднодеформованої арматури

Марка сталі, діаметр, мм	Вміст елементів, мас.%				
	C	Mn	Si	S	P
Ст3пс, Ø8,0	0,18	0,63	0,08	0,023	0,032
Ст1пс, Ø10,0	0,11	0,51	0,04	0,028	0,035
Ст3пс, Ø10,0	0,20	0,52	0,06	0,040	0,025
20Г2, Ø10,0	0,22	1,43	0,22	0,023	0,019

Виготовлення дослідної партії арматури проводили за загальноприйнятою технологією: попереднє волочіння катанки на круглу заготовку проміжного розміру, подальше формування періодичного профілю в безприводній касеті роликового типу CL 25B33 італійської фірми «Eurolls», встановленої перед другим барабаном волочильного стану SKET UDZSA 2500/2. Ступінь активної деформації вираховували за різницею вихідного діаметра катанки і кінцевого умовного діаметра продукції. Механічні властивості дослідних зразків продукції наведені в табл. 2.

Таблиця 2 –

Механічні властивості катанки і холоднодеформованої арматури (ХДА), виробленої шляхом волочіння і нанесенням профілю

Сировина/ продукція	Діа- метр, мм	Ступ. деформ. %	Показники механічних властивостей				Клас міцності
			$\sigma_{0,2}$, Н/мм ²	σ_b , Н/мм ²	$\sigma_b/\sigma_{0,2}$	δ_p , %	
Катанка, Ст3пс ХДА	8,0	-	288	468	1,60	20,5	-
	6,0	46,0	718	747	1,04	0,9	B700
Катанка, Ст1кп ХДА	10,0	-	235	405	1,72	25,5	-
	8,0	36,0	570	604	1,06	1,50	B500
Катанка, Ст3пс ХДА	10,0	-	251	432	1,70	22,0	-
	8,0	36,0	668	703	1,05	1,1	B600
Катанка, 20Г2 ХДА	10,0	-	305	486	1,62	24,0	-
	9,0	19,0	630	680	1,08	1,5	B600

Аналіз отриманих результатів показав, що активна деформація волочінням зі ступенями від 20% до 45% дозволяє підвищити міцність холоднодеформованої арматури до рівня 500 - 700 МПа, однак при цьому знижуються пластичні властивості, які не відповідають мінімальним вимогам ($\delta_p \geq 2,0$ %).

Дослідження щодо впливу активної холодної деформації на механічні властивості арматури в процесі її виготовлення розтягуванням (витяжкою) з прокату з готовим періодичним профілем проводили на зразках арматури діаметром 8,0 мм потокового виробництва ВАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» з вуглецевої сталі Ст3пс і низьколегованої сталі марок 20Г2С і 35ГС.

На першому етапі провели випробування контрольних зразків арматури на розтяг з метою визначення вихідного рівня міцності і пластичних властивостей (табл.3) для призначення подальшої активної деформації розтягуванням. Випробування зразків проводили із записом діаграм розтягування. Встановлено, що зразки арматури в початковому стані мають клас міцності А400 - А500 при достатньому запасі пластичності. Застосувавши активну холодну деформацію розтягуванням зі ступенями 3 - 10% існує можливість переведу даної арматури в більш високий клас міцності: А400 → А500, А500 → А600.

Для експериментального підтвердження проводили розтягнення зразків арматури зі сталі 20Г2С, Ст3пс і 35ГС зі ступенями 3,0; 6,0 і 9,0%. Після такої

активної холодної деформації зразки випробували на розтягнення до руйнування. Механічні властивості зразків після попереднього розтягування показують істотний приріст міцності і свідчать про перехід продукції в більш високий клас міцності.

Таблиця 3- Механічні властивості зразків арматури Ø8,0 мм в початковому стані і після додаткової витяжки

Марка сталі	Ступінь деформації %	Механічні властивості			Клас міцности
		σ_T , Н/мм ²	σ_B , Н/мм ²	δ_p , %	
20Г2С	0	564	660	9,8	A500
	3,0	595	662	6,7	A500
	6,0	644	664	3,5	A600
	9,0	658	665	1,5	A600
Ст3пс	0	469	660	15,0	A400
	3,0	553	556	10,5	A500
	6,0	616	558	7,5	A600
	9,0	644	663	4,0	A600
35ГС	0	495	643	17,0	A400
	3,0	525	645	11,3	A500
	6,0	595	650	8,0	A500
	9,0	623	653	4,8	A600

Висновки:

1. Аналіз отриманих результатів показав, що активна холодна деформація, як волочінням круглого прокату, так і витяжкою (stretching - процес) прокату з готовим періодичним профілем дозволяє підвищити міцність арматури до рівня вимог для класів міцності 500 - 600 МПа, однак при цьому значно знижуються пластичні характеристики.

2. Для підвищення пластичності готової продукції до необхідного рівня у нових технологіях будуть потрібні додаткові технологічні операції (дії) у вигляді циклічних деформацій і/або нагрівів холоднодеформованої арматури.

Посилання

1. BS 4449:2005. Стальні вироби для армування бетону. Зварювальний арматурний прокат. Прутки. Мотки і випрямлені вироби: Технічні вимоги // British Standards. 2005. – 36 с.
2. Снимщиков С.В. Новый стандарт на арматурный прокат. Современные вызовы и стратегия / Снимщиков С.В., Харитонов В.А., Суриков И.Н., Саврасов И.П. // Бюл. Ч.М., 2017. №5. С. 3-9.