

чергу обумовлює додаткові витрати тепла і погіршення умов відновлення Si. Необхідно також відмітити, що на вміст [S], можуть впливати не тільки загальновідомі фактори, але й такі, що підлягають подальшому вивченню, зокрема стан огороження робочого простору печі і стан стовпа шихтових матеріалів.

Список літератури

1. Лебедь Ю.К., Крячко Г.Ю., Душка А.И. Особенности тепловой работы доменной печи с вдуванием пылеугольного топлива // Международная научно-техническая конференция «Университетская наука – 2017». Сб. тез. докл. в 3-х томах. Том 1. Мариуполь: ГВУЗ «ПГТУ». 2017. С. 87-88.
2. Сігарьов Є.М., Недбайло М.М., Кривцун І.В. Напрямки удосконалення ковшової десульфурації чавуну // Зб. наукових праць Дніпродзержинського технічного університету (технічні науки). Дніпродзержинськ: ДДТУ. 2016, вип. 2(28). С. 3-9.
3. Обґрунтування оптимального складу шлаку ковшової десульфурації чавуну / Є.М. Сігарьов, Д.В. Єськов, І.М. Матина, Д.А. Коваленко // Foundry. Metallurgy. 2023: Materials of the XIX International Scientific and Practical Conference (October 10-12, 2023, Kharkiv-Kyiv). Kharkiv, NTU «KhPI». С. 394-397.
4. Лебедь Ю.К., Крячко Г.Ю. Влияние выхода шлака на эффективность и результативность доменной плавки // Зб. наукових праць ДДТУ (технічні науки). Кам'янське: ДДТУ. 2017, вип. 1(30). С. 3-7.

УДК 621.73.06–52

О. М. Кулік, Т. О. Кулік

Технічний Університет «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА», м. Запоріжжя

ТЕРМОМЕХАНІЧНИЙ АСПЕКТ ТЕХНОЛОГІЇ ОТРИМАННЯ ТРУБ З ГОРЛОВИНОЮ ВІДНОСНО МАЛОГО ДІАМЕТРУ РОТАЦІЙНОЮ ОБКАТКОЮ

Гаряча ротаційна обкатка інструментом тертя, в порівнянні з іншими способами пластичного деформування трубчастих заготовок, має низку переваг: високу продуктивністю, незначну силу деформування, можливість шляхом формування на кінцях трубчастої заготовки горловин відносно малого діаметра отримати форму максима-

льно наближену до готового виробу. Сучасні тенденції розвитку технології гарячої ротаційної обкатки трубчастих заготовок стосуються не тільки одержання заданої геометричної форми при повному використанні можливостей обладнання, а й необхідної якості металу за мінімальних енергетичних витрат [1].

Традиційний шлях забезпечення необхідного рівня провідного показника якості, а саме механічних властивостей, – це запровадження легуючих елементів та застосування термічної обробки. Однак, застосування цих методів викликає значне подорожчання одержаних заготовок та підвищення витрат енергії на їх виробництво. Тому останнім часом велика увага приділяється розробці та дослідженню нових процесів, що б поєднували основний технологічний процес з термічною обробкою: контрольована прокатка, обробка тиском з контрольованим охолодженням, деформаційно-термоциклічна обробка тощо. Цими видами обробки можна на нелегованих або низьколегованих сталях досягти такого надзвичайно високого комплексу механічних властивостей, який не може бути досягнутий звичайними способами термообробки або ускладненого легування. Крім того, при порівняно високій міцності, термомеханічна та деформаційно-термоциклічна обробки дають більш високі значення пластичності та в'язкості, тобто підвищують опір відриву та конструктивну міцність.

В рамках даної роботи дослідження термомеханічного аспекту технології обкатки проводилися на трубах, що найчастіше використовуються у виробництві роликів стрічкових конвеєрів, а саме на прямошовних електрозварних трубах 102x3,5 зі сталі В10 ДСТУ7809:2015 та її аналогу С10Е EN 10084:2008 ($HV = 1220$, $\sigma_B \cong 448$ МПа).

Заготовки нагрівали безпосередньо в шпинделі, що обертається, за допомогою кільцевого багатовиткового індуктора. Обкатування здійснювали комплектом інструментів тертя, встановлених на супорті обкатної машини. В процесі контролювали температуру кінця заготовки, що формується. Швидкість руху інструменту визначали в ході попередніх експериментів з умови відсутності втрати стійкості труби. Обкатані заготовки різали на темплети, які металографічно аналізували. При цьому механічні характеристики матеріалу заготовки визначали за стійким зв'язком між твердістю металу HV , виміряною в різних місцях темплера горловини, і тимчасовим опором σ_B .

При традиційній технології ротаційної обкатки горловини заготовку попередньо нагрівають до температури 1150 ... 1200°C. У ході деформування температура їх підвищується, що пов'язано як із тепловиділенням у ході самої деформації, так і з тертям інструментом. Наприкінці формування температура може досягати 1340°C.

При використанні таких термомеханічних режимів (нагрів до $1150^\circ \pm 50^\circ\text{C}$, деформування і подальше охолодження на повітрі) метал має структуру ферит + перліт і

розмір зерна в 4-5 балів, твердість $HV = 1110 \dots 1140$ МПа, $\sigma_B \cong 410 \dots 450$ МПа (рис.1). У випадках, коли такий рівень механічних властивостей достатній, можна застосовувати ротаційну обкатку інструментом тертя без подальшої термообробки.

Було досліджено також використання режимів контрольованого охолодження. Заготовку, нагріту в шпинделі обкатної машини до 1150°C , обкатували інструментом тертя і охолоджували від температури обкатки з різними швидкостями. Температуру закінчення примусового охолодження також варіювали. Результати показали, що контрольоване охолодження дозволяє отримувати вироби з різними показниками твердості та, відповідно, межі міцності. Однак величина зерна при цьому істотно не знижується (рис. 1, б), отже, в'язкість і втомна міцність матеріалу горловин недостатні для експлуатації у важких режимах.

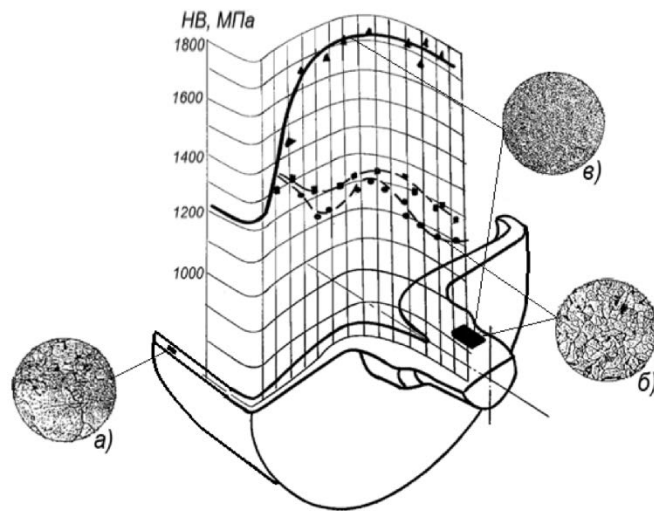


Рис. 1 – Розподіл твердості вздовж твірної горловини та мікроструктура заготовки до (а) та після обкатки традиційним режимом (б) та деформаційно-термоциклічної обробки (в)

Особливість формування горловин відносно малого діаметра полягає в фактично двостадійній обробці: спочатку формується конічне герметичне днище, яке потім переформовується в горловину. Це дозволило припустити можливість формування власне горловини за більш низької температури, не характерної для гарячого деформування труби, але характерної для її термомеханічної обробки сталі. Це припущення було засноване на тому, що стійкість конічного днища значно вища за стійкість трубчастої заготовки. При такій технології після нагрівання та формування конічного днища заготовку охолоджували водою, що подавалася зі сплєєра під тиском 0,2 МПа. В ре-

зультаті деформування здійснювалося біля верхньої межі ($\alpha + \gamma$)-області. Після виходу заготовки з контакту з інструментом примусове охолодження припиняли і подальше охолодження здійснювали на повітрі.

Сталь, оброблена за цією технологією, мала значно більшу міцність ($HB = 1900 \dots 2000$, $\sigma_B \cong 657 \dots 687$ МПа) (рис. 1, в), ніж сталь після традиційної ротаційної обкатки. Це пояснюється тим, що в ході обкатки інструментом тертя метал заготовки на ділянці, що піддається примусовому охолодженню, з одного боку охолоджується рідиною, з іншого - нагрівається від деформації і від тертя інструментом. Так як тільки частина ділянки, що деформується, контактує з інструментом, то в деформованому металі відбувається циклічна зміна температури, і процес супроводжується фазовими перетвореннями, що призводить до інтенсивного подрібнення зерна. Порівняння мікроструктур металу (рис. 1) підтверджує, що у горловинах відбулася деформаційно-термоциклічна обробка.

Таким чином дослідження показали, що при використанні традиційних термомеханічних режимів структура металу в горловинах ферито-перлітна з рівноосними зернами розміром 4-5 балів, що робить його пластичним, але недостатньо в'язким та витривалим. Для підвищення твердості і міцності металу через отримання дрібнозернистої феритно-перлітної структури з розмірами зерна 9-10 балів, необхідно примусове охолодження горловини на етапі переформування конічного днища.

Список літератури

1. Liu, X. Rotary forging with multi-cone rolls / X. Liu, C. D. Zhu, S. D. Sun, R.F. Ma // J. Manuf. Process. - 2020. - #56. - P. 656-666.