

рівні зручності руху А та Б зона між смугами накату більш завантажена та працює інтенсивніше. Права смуга накату при рівні зручності руху В і Г працює з більшим навантаженням ніж при рівні зручності руху А і Б. Аналогічні закономірності зміни зчіпних якостей та рівності покриттів спостерігаються на перетинах в одному рівні, у зоні перехідно-швидкісних смуг, у виїмках, на підйомах та спусках і т.д.

Недооцінка впливу кліматичних умов при виборі та призначенні експлуатаційних заходів приводить до зниження швидкості руху автомобілів та транспортного потоку в цілому, обмеженню руху та заторів в наслідку впливу несприятливих погодних умов, збільшення випадків, які сприяють дорожньо-транспортним пригодам.

### **Висновки**

При призначенні ремонтно-експлуатаційних заходів для забезпечення та відновлення експлуатаційних показників автомобільних доріг в першу чергу зчіпних властивостей та рівності покриття, необхідно комплексно враховувати регіональні погодно-кліматичні умови та стан проїзної частини не тільки в повздовжньому, а і в поперечному напрямках.

### **Посилання**

1. Гончаренко Ф.П., Прусенко Є.Д., Скорченко В.Ф. Експлуатаційне утримання та ремонт автомобільних доріг за складних погодних та екологічних умов. - Київ, 1999. -264с.
2. Хом'як Я.В. Структура і зв'язки системи «дорожні умови - транспортні потоки». // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво - Київ: Будівельник, 1981. Вип.9 - с.43-49.

## **ВПЛИВ МЕТОДІВ ВИПЛАВКИ НА ЯКІСТЬ ТОВСТОГО ЛИСТА**

*Ст. досл., докт. техн. наук Г.А. Кононенко<sup>1</sup>, ст. викл. Т.В. Кімстач<sup>1,2</sup>,  
аспірант, мол. наук. співр. О.А. Сафронова<sup>1</sup>,  
аспірант, мол. наук. співр. Р.В. Подольський<sup>1,2</sup>, пров. інж. О.П. Клинова<sup>1</sup>*  
<sup>1</sup>*Інститут чорної металургії ім. З.І. Некрасова НАНУ, м. Дніпро, Україна*  
<sup>2</sup>*Український державний університет науки і технологій,  
м. Дніпро, Україна*

**Основні результати.** В даний час товстолистовий прокат широко використовується для виготовлення корпусних конструкцій суден, бронетехніки, елементів броні стаціонарних об'єктів та інших металовиробів відповідального призначення. Активно ведуться наукові дослідження з метою підвищення динамічної стійкості броньових сталей, що пов'язано з посиленням вимог до броньового захисту.

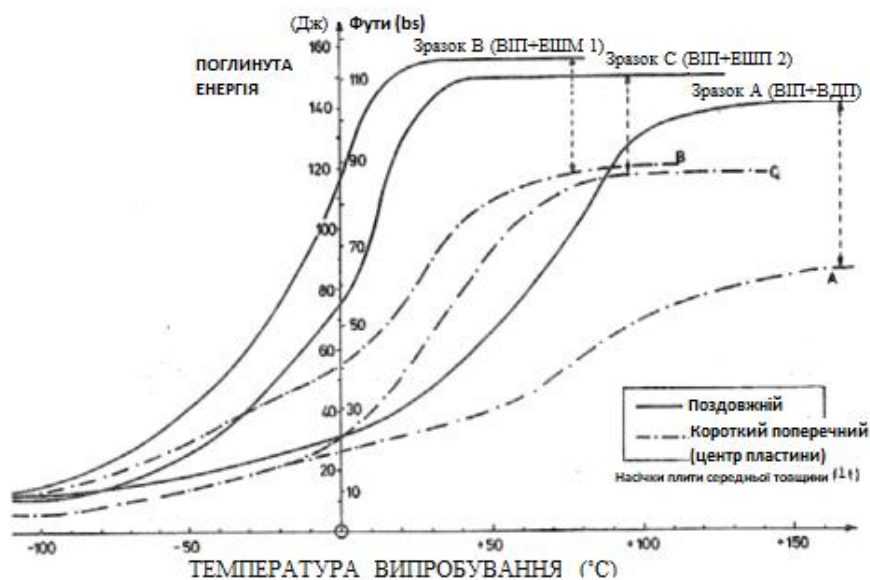
Відомо, що властивості матеріалів накладають обмеження на конструкцію та значною мірою визначають характеристики виробу. Головними вимогами до товстого листа є поєднання високої міцності, твердості, плинності і в'язкості, які здатні протидіяти ударному та абразивному зносу в умовах експлуатації виробів у різних умовах [1, 2]. Одним із шляхів підвищення властивостей сталі є застосування сучасних методів плавки: вакуумного дугового (ВДП), вакуумно-індукційного (ВІП), електрошлакового (ЕШП) переплавів [3], що забезпечує підвищення якості сталей відповідального призначення та надання їм унікального комплексу властивостей за рахунок глибокого очищення від шкідливих домішок (сірки, кольорових металів, газів, неметалевих включень тощо) і швидкого та спрямованого затвердіння очищеного від шкідливих домішок металу [4, 5]. За рахунок застосування сучасних металургійних технологій забезпечується зчеплення шарів з високим опором відриву та дрібнозерниста структура зі спрямованою текстурованістю, що у поєднанні з високою металургійною якістю сталі гарантує високу динамічну стійкість при зниженні ефективної товщини броні [3].

Вакуумно-дуговий переплав (ВДП) – переплав витратного електрода у вакуумі (1-7 Па) або інертному газі при тиску нижче атмосферного з формуванням  $\leq 8$ -т зливка у водоохолоджуваному кристалізаторі. Джерело тепла при розплавленні електрода – високого струму електрична дуга. Метал вакуумно-дугового переплаву характеризується однорідністю властивостей, низьким вмістом газів та щільною макроструктурою. До недоліків ВДП слід віднести неможливість зниження вмісту сірки (через відсутність шлаку), складність і висока вартість устаткування, підвищене випаровування деяких компонентів, іноді незадовільна поверхня злиwkів. Для зменшення випаровування елементів та покращення якості поверхні зливка ВДП проводять при 0,7-4,0 кПа в аргоні, гелії або азоті (легування металу). Сортамент сталей та сплавів, отриманих вакуумно-дуговим переплавом, досить широкий [6].

Вакуумна індукційна плавка (ВІП) – це виплавка металів та сплавів у вакуумній індукційній печі з керамічним тиглем. ВІП є дуже ефективною для видалення з металу азоту та водню, а також таких шкідливих домішок, як свинець, селен, мідь, вісмут та телур [7, 8]. При ВІП індуктор з тиглем, дозатор шихти і виливниці поміщають у вакуумні камери. Плавка, введення легуючих добавок, розкислювачів, розлив металу у виливниці виробляються без порушення вакууму в камері. У такий спосіб отримують сплави високої якості з малим вмістом газів, неметалевих включень, сплави, леговані будь-якими елементами [9]. Недоліками ВІП є те, що при тривалій витримці в результаті реагування з футеровкою метал забруднюється киснем, неметалевими включеннями, елементами, які відновлюються з футерівки (кремнієм, алюмінієм та іншими). Оскільки метал розливають у виливниці, то він може мати дефекти будови, характерні для звичайного відкритого злитка.

У сучасних установках ЕШП переплав проводять в атмосфері з азоту чи аргону. У роботах [3, 10] зазначено, що ЕШП є одним з найбільш ефективних промислових методів покращення металургійної якості, підвищення в'язкості та живучості катаної броні. Сталі, виплавлені методом ЕШП, відрізняються високою чистотою за неметалевими включеннями. Затвердіння металу в кристалізаторі значно покращує якість металу порівняно з охолодженням у злитках. Тому лист, виготовлений методом ЕШП, відрізняється високою ізотропністю механічних властивостей, особливо за товщиною, та рівнем ударної в'язкості в 1,5-2 рази вищим, ніж, наприклад, у мартенівської сталі [10].

Недоліком ЕШП є неможливість організувати у відкритому агрегаті видалення водню. У зв'язку з цим широке поширення набули дуплекс-процеси ВП–ЕШП та ВП–ВДП. Підтвердженням сказаного вище є дані представлені на рис. 1 [11]. Сталь, яка була отримана ЕШП (зразки В і С), характеризується вищими значеннями ударної в'язкості (у поперечному напрямку), ніж та ж сталь, що отримана ВДП (зразок А).



**Рисунок 1 – Поздовжня і поперечна криві Шарпі для вакуумного індукційного переплаву (ВП) сталі, за якою слідує або ЕШП (зразки В і С), або вакуумно-дуговий переплав (ВДП) (зразок А) [11]**

Це корелює з даними про те, що сталі, отримані ЕШП мають підвищену стійкість до сколювання по всій товщині від вибухових впливів, що виникають при контактній детонації [11].

Сталі, отримані методом ЕШП мають поліпшену балістичну стійкість в діапазоні твердості, в якому відбувається адіабатичний зсув [12], і, таким чином, найкраще підходять для виготовлення бронеперешкод. Будь-яке підвищення балістичної стійкості проти снарядів стрілецької зброї буде пов'язане з більшою роботою відриву корку у разі виникнення асиметричної деформації. [13].

**Висновок.** Встановлено, що одним з найбільш ефективних промислових методів виплавки сталі для товстого листа є ЕШП та дуплекс-процеси з ЕШП. Застосування даного методу дозволяє покращити металургійну якість сталі, підвищити в'язкість та живучість катаної броні з неї. Завдяки отриманню підвищеної балістичної стійкості сталі, отриманої методом ЕШП, вона є перспективним матеріалом для виготовлення бронеперешкод.

### Посилання

1. Гладишев С.А., Григорян В.А. Броневі сталі. М. : Інтернет Інжиніринг, 2010. 336 с.
2. Перчун Г.І., Самофалова А.О., Кононенко Г.А. Методи визначення балістичної стійкості пластин броні. *Фундаментальні та прикладні проблеми чорної металургії*: Сб. научн. тр. Дніпропетровськ.: ІЧМ НАН України, 2015. Вип. 30. С. 337-342
3. Високовський С. І., Гуглін Н. Н., Левін Л. С., Маресєв М. І., Філорік'ян Б. К. Про шляхи підвищення протиснарядної стійкості катаної сталеві броні для танків Питання оборонної техніки. Серія XX. Випуск 63. 1976. URL : [http://btvt.info/5library/vop\\_1976\\_btk1.htm](http://btvt.info/5library/vop_1976_btk1.htm).
4. Козачков Є.А., Чепурний А.Д., Медовар Л.Б., Саєнко В.Я. Сучасна електрошлакова технологія у спеціальній електрометалургії. *Вісник приазовського державного технічного університету*. 2003. Вип. 13. С. 1-6.
5. Потак Я. М. Високоміцні сталі. Серія "Успіхи сучасного металознавства". М.: Металургія, 1972. 208 с.
6. Вакуумний дуговий переплав. URL : <https://metallolome.ru/vakuumnyj-dugovoj-pereplav/>.
7. Бородулін Г.М., Мошкевич Є.І. Нержавіюча сталь. М.: Металургія, 1973. 320 с.
8. Сімс Ч.Т. та ін. Суперсплави II: Жароміцні матеріали для аерокосмічних та промислових енергоустановок. Книга 2. Москва: Металургія, 1995. 384с.
9. Дальський А.М. Технологія конструкційних матеріалів. Москва: Машинобудування, 2004 г. 512 с.
10. A.C. Mackenzie, J.W. Hancock and D.K. Brown, On the Influence of State of Stress on Ductile Failure Initiation in High Strength Steels, *Eng. Fract. Mech.*, Vol. 9, 1977, pp. 168-188.
11. A. Doig, Comparative Anisotropy of Quenched and Tempered Alloy Steel Plates made by High Quality Air Melting, ESR, VIM&VAR, and VIM&ESR processes, Sixth International Vacuum Metallurgy Conference on Special Melting, San Diego, CA, April 1979.
12. J.D.W. Rawson and D.I. Dawson, British Steel Corporation Corporate Laboratories Report, MG/34/72, 1972.
13. R.L. Woodward, The Interrelation of Failure Modes Observed in the Penetration of Metallic Targets, *Int. J. Impact Engng*, Vol. 2, 1984, pp. 121-129.