

СПЕЦІАЛЬНІ РОЗРОБКИ

УДК 623. 438.2 (001.57)

Самарай Валерій Петрович,

кандидат технічних наук, доцент, науковий співробітник
ДНДІ МВС України, м. Київ, Україна,
ORCID ID 0000-0003-4419-1366

Гнатуш Віталій Аполонович,

кандидат технічних наук, незалежний аналітик, м. Київ, Україна,
ORCID ID 0000-0003-0772-686X

Фесенко Максим Анатолійович,

кандидат технічних наук, доцент, науковий співробітник
ДНДІ МВС України, м. Київ, Україна,
ORCID ID 0000-0001-8218-4154

Даценко Іван Петрович,

кандидат технічних наук, докторант Національного університету
оборони України імені Івана Черняхівського, м. Київ, Україна,
ORCID ID 0000-0002-0047-413X

Неня Олена Володимирівна,

кандидат юридичних наук, начальник відділу ДНДІ МВС України,
м. Київ, Україна,
ORCID ID 0000-0001-9721-5718

Кучинський Юрій Дмитрович,

кандидат юридичних наук, завідувач науково-дослідної
лабораторії ДНДІ МВС України, м. Київ, Україна,
ORCID ID 0000-0003-0485-4778

СТАН ВИРОБНИЦТВА СТАЛЕЙ ДЛЯ БРОНЕЖИЛЕТІВ І БРОНЕПЛИТ

У статті наведено порівняльний аналіз поширених марок броньових сталей зарубіжних виробників, їх механічні та спеціальні властивості, технологічні особливості виготовлення, а також сфери застосування. Запропоновано розроблені перспективні ливарні технології виробництва броньованих сталей вітчизняного виробництва. Підтверджено їх реалізацію, визначено оптимальні технологічні параметри та плавильно-ливарні режими, які забезпечують одержання сталей із заданою структурою та властивостями.

У ході проведених досліджень, завдяки розробленим технологіям виробництва броньованих сталей, отримані експериментальні зразки, які пройшли випробування в балістичних лабораторіях. Сформульовано рекомендації та технічні інструкції, за якими було запущено виробництво сталевих бронжилетів на підприємстві.

© Samarai Valerii, Hnatush Vitalii, Fesenko Maksym, Datsenko Ivan, Nenia Olena, Kuchynskyi Yurii, 2020

DOI (Article): [https://doi.org/10.36486/mst2411-3816.2020.1\(60\).15](https://doi.org/10.36486/mst2411-3816.2020.1(60).15)

Issue 1(60) 2020

<http://suchasnaspetstechnika.com/>

Ключові слова: броньова сталь, бронеплита, бронезилет, захисні вироби, ливарні технології, механічні властивості, балістичні випробування.

В статті проведено сравнительный анализ распространенных марок броневых сталей зарубежных производителей, рассмотрены их механические и специальные свойства, технологические особенности изготовления, а также области применения. Предложены и разработаны перспективные литейные технологии производства бронированных сталей отечественного производства. Подтверждена их реализация, определены оптимальные технологические параметры и плавно-литейные режимы, которые обеспечивают получение сталей с заданной структурой и свойствами.

В ходе проведения экспериментов, благодаря разработанным технологиям производства бронированных сталей, получены образцы, которые прошли испытания в баллистических лабораториях. Сформулированы рекомендации и технические инструкции, по которым было запущено производство стальных бронезилетов на предприятии.

Ключевые слова: броневая сталь, бронеплита, бронезилет, изделия для защиты, литейные технологии, механические свойства, баллистические испытания.

На початку ХХІ століття одним із пріоритетних напрямів протидії військовим, терористичним, а також іншим загрозам суспільству в Україні є розроблення сучасних засобів індивідуального бронезахисту (далі – ЗІБ), а також оснащення ними особового складу Міністерства внутрішніх справ України, Міністерства оборони України, Служби безпеки України, підрозділів охоронних служб тощо.

Відомо, що використання якісних броньованих засобів на основі спеціальних сталей гарантують захист від більшості видів стрілецької зброї, осколків гранат, мін та вибухівки [1].

Вітчизняні промислові підприємства виготовляють деякі марки сталей та листового прокату (у т. ч. і термомеханічного оброблення) з броньових сталей в умовах металургійних підприємств, але їх кількість обмежена, а рівень механічних і експлуатаційних властивостей не завжди задовольняє вимоги до відповідного рівня захисту.

Слід зазначити, що останніми 7–10 роками багато металургійних підприємств різних країн світу виготовляють листовий металопрокат від 2 до 80 мм подвійного призначення (як зносостійкий для промислового використання, який можна використовувати для броньових виробів – бронезилетів, зварних корпусів бронетехніки) [2].

У зв'язку з цим, актуальним є створення та виготовлення вітчизняних захисних засобів із броньових сталей із урахуванням досвіду виробництва зарубіжних високоякісних аналогів.

Натепер сталеві ЗІБ виготовляються за допомогою різних методів із проведенням режимів обов'язкового довготривалого термічного оброблення [2–4]. Це потребує використання спеціального устаткування, а також збільшує енергетичні та економічні витрати на виробництво виробів цієї номенклатури.

© Samarai Valerii, Hnatush Vitalii, Fesenko Maksym, Datsenko Ivan, Nenia Olena, Kuchynskyi Yurii, 2020

DOI (Article): [https://doi.org/10.36486/mst2411-3816.2020.1\(60\).15](https://doi.org/10.36486/mst2411-3816.2020.1(60).15)

Issue 1(60) 2020

<http://suchasnaspetstehnika.com/>

Одним із шляхів зменшення або усунення перелічених недоліків може бути виготовлення броньових пластин із застосуванням спеціальних ливарних технологій. Слід відзначити, що виробництво такої номенклатури виробів на сьогодні на підприємствах України практично не реалізовано.

Метою статті є висвітлення сучасного стану світового ринку балістичних (броньових) сталей та комплексу науково-експериментальних досліджень для розроблення ливарних броньованих сталей, а також технологій виготовлення з них спеціальних виробів балістичного захисту.

Світовий ринок броньових матеріалів у 2017 р. оцінюється у 8,67 млрд USD і прогнозовано збільшиться до 12,11 млрд USD в 2022 р., тобто в 1,4 рази. Зростання цього ринку пов'язане передовсім зі зміною сценаріїв бою та розвитком нових видів зброї, а також боєприпасів. Це, у свою чергу, призведе до збільшення попиту на ефективніші броньові рішення [5].

Обсяг світового ринку бронешитетів у 2018 р. оцінювався у 2,1 млрд USD, і, як очікується, він збільшиться в середньорічному вимірі (середньорічний темп зростання – CAGR) на 5,5 % з 2019 по 2025 рр. Акцентування оборонних відомств на забезпеченні живучості солдатів сприяє попиту на засоби індивідуального захисту. Нестача балістичних захисних костюмів та збільшення масштабів воєнних дій у таких країнах як Ірак, Сирія та Україна ще більше прискорюють зростання галузі.

Технологічний прогрес та впровадження інноваційних виробів, таких як модульні тактичні жилети, створених у рамках програм військової модернізації, включаючи Програму технології майбутнього піхотного солдата Великобританії (Future Infantry Soldier Technology, FIST), а також програм Франції FELIN (Fantassin a Equipements et Liaisons Integres), є ключовими чинниками, що сприяють динамічності ринку засобів індивідуального захисту [6].

Розробленням та виготовленням броньових (балістичних) сталей у світі займаються багато країн Європи, Америки, Азії, зокрема, США, Китай, Росія, Швеція, Велика Британія, Німеччина.

Балістичні сталі Швеції Armoх ґрунтуються на металевій системі Ni-Mn-Cr (табл. 1) [7–11]. Як мікролегування використовуються молібден (0,065 %) і бор (0,002–0,050 %). Слід відзначити регламентацію малого вмісту фосфору (0,015 %) та сірки (0,010–0,003 %). Також необхідно зазначити, що у Швеції марки броньових сталей Armoх виплавляють з використанням позапічного оброблення, а вироби піддаються термомеханічному обробленню (ТМО). Компанія SSAB Technology AB (Швеція) розробила броньові сталі та має торгові марки Armoх, Ramor і Swebor Armor (табл. 1) [7–11].

Сталь **Armoх 500Т** (Швеція) використовується для виготовлення броні з високою твердістю (480...540 НВ), яка має зовнішню в'язкість. Також така сталь призначена для використання в транспортних засобах, будівлях та багатьох інших сферах застосування. Вона забезпечує виробам з неї баланс твердості та міцності для запобігання комбінованому проникненню (кулі, осколки тощо) та захисту від вибуху. Сталь Armoх 500Т не призначена для подальшого термічного оброблення [7].

© Samarai Valerii, Hnatush Vitalii, Fesenko Maksym, Datsenko Ivan, Nenia Olena, Kuchynskiy Yurii, 2020

DOI (Article): [https://doi.org/10.36486/mst2411-3816.2020.1\(60\).15](https://doi.org/10.36486/mst2411-3816.2020.1(60).15)

Issue 1(60) 2020

<http://suchasnaspetstehnika.com/>

Хімічний склад (%) та твердість балістичних сталей Швеції

Марка сталі	C	Si	Mn	Cr	Ni	Інші	Твердість, НВ
1	2	3	4	5	5	6	7
Armoх 370s	0,28	дв	1	0,8	1,1	дв	265...440
Armoх 300S	0,18	дв	1,5	0,4	дв	дв	280...340
Armoх 400s	0,18	дв	1,5	0,4	дв	дв	360...420
Swebor Armor 500	0,3	0,5	0,4	так	дв	Мо + В	477...535
Armoх 500s	0,28	дв	1	0,8	1,1	дв	480...540
Armoх 500T, max	0,32	0,4	1,2	1,01	1,81	Мо + В	480...540
Ramor-500, max	0,35	0,7	1,5	1	2	Мо+В	480...560
Armoх 560s	0,35	дв	1	1,2	3	Мо + В	534...601
Ramor-550	0,36	0,6	1	1,5	2,5	Мо+В	540...600
Armoх 600s	0,45	дв	0,8	0,8	2,5	Мо + В	570...640
Armoх 600T, max	0,47	0,7	1	1,5	3	Мо + В	570...640
Swebor Armor 600, max	0,4	0,9	0.60	0.90	3	В	590...640

Примітка: дв – дані відсутні.

Сталь **Swebor Armor™ 500** (Швеція) – це низьколегована балістична захисна сталь (477...535 НВ). Низький вміст вуглецю та марганцю у поєднанні з контрольованими послідовностями нагрівання, прокачування, охолодження та термічного оброблення надають їй вдалу комбінацію механічних властивостей. Прокат такої сталі може бути використаний у цивільних бронеавтомобілях, поліцейських автомобілях, захисних дверях і стінах [8].

Сталь **Armoх 600T** (Швеція) має високу твердість (570...640 НВ) та стійкість проти проникнення та захисту від вибуху. Тому вона використовується для виготовлення додаткових захисних засобів (захисних пластин) або там, де вага є критичною. Сталь Armoх 600T відзначається ідеальним балансом між твердістю та міцністю [9].

Сталь **Swebor Armor™ 600** – це балістична захисна сталь з надвисокою твердістю (590...640 НВ). Прокат сталі може використовуватися для виготовлення основних елементів захисту або додаткової броні в автомобілях, бронетранспортерах тощо. Незважаючи на високу твердість, сталь Swebor Armor™ 600 має хороші згинальні та зварювальні властивості [10].

Сталь **Ramor 500** – це балістична захисна сталь високої твердості (490...560 НВ), що поставляється товщиною від 2 до 30 мм у загартованому стані. Така сталь не призначена для подальшого термічного оброблення. Її базова металева система Ni-Mn-Cr-Mo містить не більше 0,005 % В. Вміст фосфору регламентується не більш 0,015 %, а сірки – 0,010 % [11].

© Samarai Valerii, Hnatush Vitalii, Fesenko Maksym, Datsenko Ivan, Nenia Olena, Kuchynskiy Yurii, 2020

DOI (Article): [https://doi.org/10.36486/mst2411-3816.2020.1\(60\).15](https://doi.org/10.36486/mst2411-3816.2020.1(60).15)

Issue 1(60) 2020

<http://suchasnaspetstehnika.com/>

Балістичні сталі Франції мають такі основні легувальні елементи як Ni-Mn-Cr-Mo (табл. 2) [12, 13]. Для легування використовується молібден у кількості 0,4...0,5 %. Фосфор регламентується на рівні менше 0,010 %, а сірка – менше 0,002 %.

Таблиця 2

Хімічний склад (%) та твердість балістичних сталей Франції

Марка сталі	C	Si	Mn	Cr	Ni	Інші	Твердість, HB
MARS 270S	0,35	дв	дв	0,75	3,1	Mo	534...601
Mars® 300, max	0,55	1,0	0,7	0,4	2,4...4,5	Mo	578...655
Mars 600, max	0,50	1,0	1,0	0,5	2,4	Mo	578...655

Примітка: дв – дані відсутні.

Сталь **Mars® 300** (Франція) використовується для виготовлення броні ультрависокої твердості (578...655 HB) для балістичного захисту, а також широкого спектра застосувань: індивідуального захисту, легкої броні для захисту вертольота, знімного захисту для транспортних засобів, важкого захисного компоненту бойових танків від кінетичних снарядів [12].

Сталь **Mars® 600** (Франція) – це ультрависокоміцна броньована сталь (578...655 HB), яка має дуже високі балістичні характеристики та значні показники зменшення ваги виробів, а також забезпечує сучасний дизайн броні [13].

Балістичні сталі Німеччини мають такі основні легувальні елементи як Ni-Cr-Mn-Mo (табл. 3) [14]. Вміст молібдену у таких сталях складає 0,50...0,60 %.

Таблиця 3

Хімічний склад (%) та твердість балістичних сталей Німеччини

Марка сталі	C	Si	Mn	Cr	Ni	Інші	Твердість, HB
SECURE 450							400...480
SECURE 500, max	0,32	0,4	0,50...1,00	1,5	0,50 (до 50 мм); 3,70 (понад 50 мм)	Mo	480...530
SECURE 600							570...640

Примітка: дв – дані відсутні.

Сталь **SECURE 500** (Німеччина) – це легована, загартована рідиною високоміцна спеціальна сталь (480...530 HB). Виготовлення такої сталі супроводжується розкисленням алюмінієм – 0,050...0,110 %. При цьому, вміст фосфору регламентується на рівні 0,015 %, а сірки – 0,005 %.

Прокат такої сталі виробляється, як правило, завтовшки від 3 до 90 мм. Для поставки прокату завтовшки від 90 до 150 мм потрібна спеціальна угода. Режими термічного оброблення залежать від хімічного складу сталі та товщини виробу. Сталь може бути використана для балістичного захисту броньованих автомобілів і транспортерів [14].

Польська компанія **Miilux Poland Sp. Z o.o.** пропонує споживачам лінійку сталевого прокату, легованого Mn-Cr-Ni з додаванням 0,004...0,005% бору (табл. 4) [15].

Таблиця 4

Хімічний склад (% , max) та твердість балістичних сталей Польщі

Марка сталі	C	Si	Mn	Cr	Ni	Інші	Твердість, HB
Miilux Protection 380, max	0,13	0,40	1,40	1,50	0,40	B	320...370
Miilux Protection 400, max	0,20	0,70	1,70	1,50	0,40	B	360...420
Miilux Protection 450, max	0,26	0,60	1,50	1,50	0,70	B	420...480
Miilux Protection 500, max	0,30	0,70	1,70	1,50	0,80	B	480...560

Домішки фосфору та сірки регламентуються на рівні, відповідно, 0,020...0,030 % та 0,010...0,015 %. Прокат виробляється завтовшки від 2,5 до 40 мм. Межа міцності коливається в діапазоні від 1000 МПа (Miilux Protection 380) до 1600 МПа (Miilux Protection 500). Вироби з прокату цих марок сталі застосовуються для захисту банківських установ, а також як цивільних, так і військових автомобілів [15].

Балістичні сталі Австралії представляє компанія Bisalloy Steels Group Limited. Основою лінійки цих сплавів є легування Cr-Mn-Ni з додаванням молібдену (0,30 %) та бору (0,002 %) (табл. 5) [16]. Верхні межі вмісту фосфору та сірки встановлені, відповідно, на рівні 0,020...0,025 % та 0,005 %. Межа міцності, залежно від марки сталі, коливається в інтервалі від 830 МПа (BISALLOY® Armour 80A steel) до 2050 МПа (BISALLOY® Armour UHN 600 steel).

Вироби з броньованої сталі від торговельної марки BISALLOY® використовуються у транспортних засобах військових, поліції, а також посольств [16].

Таблиця 5

Хімічний склад (% , max) та твердість балістичних сталей Австралії

Марка сталі	C	Si	Mn	Cr	Ni	Інші	Твердість, HB
BISALLOY® Armour 80A steel	0,18	0,25...0,60	1,0...1,2	0,25...1,00	–	Mo+B	255

© Samarai Valerii, Hnatush Vitalii, Fesenko Maksym, Datsenko Ivan, Nenia Olena, Kuchynskyi Yurii, 2020

DOI (Article): [https://doi.org/10.36486/mst2411-3816.2020.1\(60\).15](https://doi.org/10.36486/mst2411-3816.2020.1(60).15)

Issue 1(60) 2020

<http://suchasnaspetstehnika.com/>

Марка сталі	C	Si	Mn	Cr	Ni	Інші	Твердість, НВ
BISALLOY® Armour RHA 300 steel	0,32	0,60	1,50	1,20	0,50	Mo+B	260...310
BISALLOY® Armour RHA 360 steel	0,32	0,60	1,50	1,20	0,50	Mo+B	310...410
BISALLOY® Armour HTA 400 steel	0,32	0,60	1,50	1,20	0,50	Mo+B	370...430
BISALLOY® Armour UHT 440 steel	0,25	0,60	1,40	1,20	0,50	Mo+B	420...470
BISALLOY® Armour HHA 500 steel	0,32	0,50	0,80	1,20	0,50	Mo+B	477...534
BISALLOY® Armour VHN 550 steel	0,38	0,35	0,50	1,20	1,00	Mo+B	530...570
BISALLOY® Armour UHN 600 steel	0,45	0,35	0,50	1,20	1,00	Mo+B	570...640

У 1960-х роках у США була розроблена броньова сталь, легована Ni-Mo-Cr. Згідно з міжнародним стандартом MIL-A-46099C “Armor plate, steel, roll-bonded, dual hardness (0.187 inches to 0.700 inches inclusive)”, готовий прокат цієї сталі має твердість заднього шару 461...534 НВ, а твердість переднього шару (завдяки високому вмісту вуглецю) 601...712 НВ. Завдяки такій зміні твердості шарів досягається висока балістична стійкість такої сталі, а також розширюється сфера її застосування.

Технічні умови на поставку броньового листа з такої сталі регламентуються стандартом MIL-A-46173 “Armor steel, plate, wrought, (ESR). (3/16 through 3 inches, inclusive)” [17–19].

Технологічно броньований прокат з градієнтом твердості по перерізу виготовляють із застосуванням електрошлакового переплаву. При цьому розплавлений метал наносять на сталеву пластину в твердому або частково розплавленому стані. Іншим варіантом з'єднання двох сталевих пластин різної твердості є використання зварювання вибухом [20].

Проблематика броньового захисту являє собою комплексну систему, яка оцінюється таким показником як балістична стійкість. Остання включає вплив таких чинників як хімічний склад сталі, її динамічне та термічне оброблення, твердість, ударну в'язкість, геометричні параметри виробу. Найбільш простим та вживаним методом контролю броньових сталей є вимірювання її твердості за Брінелем (НВ), що використовується в світовій практиці (табл. 6) [20, 21].

Співставлення класів броньової сталі різних країн
та рекомендацій стосовно твердості сталі

Клас сталі	DEF Stan 95-24/2 2002, Велика Британія	U.S. Specification Approx. Nominal Equivalent Grade, США	DEF (AUST) 8030, Австралія	Сфера застосування згідно з DEF (AUST) 8030, Австралія	Приклади класифікації сталей за показником твердості згідно з U.S. Specification
1	2	3	4	5	6
1	262...311 HB	HP	HP	Використовуються загартовані та відпущені сорти конструкційних сталей для бронежилетів	
2	262...311 HB	260...310 HB	260...310 HB	Броня призначена для захисту від мін та іншої вибухової зброї.	Армох 300S (280...340 HB);
3	470...540 HB	310...390 HB	340...390 HB	Броня повинна мати хорошу стійкість проти вогнепальної зброї	Армох 370s (265...440 HB)
4	475...605 HB	360...410 HB	370...430 HB	Броня піддається термічній обробці для підвищення стійкості	Армох 400s (360...420 HB)
5	560...655 HB	420...470 HB	420...470 HB	Броня піддається термічній обробці для підвищення стійкості	Ramor - 500 (480...460 HB)
6	–	477...534 HB	477...534 HB	Броня для бронежилетів, обмежене застосування для зварювання	Армох 560s, (534...601 HB); MARS 2 70S (534...601 HB); Армох 500s (480...540 HB); Армох 500T (480...540 HB)
7	–	?570 HB	?570 HB	Броня для бронетанкової техніки	Армох 600s (570...640 HB); Ramor-550 (540...600 HB)
8	–	?570 HB	?570 HB	Броня для бронетанкової техніки	Армох 600T (570...640 HB)

Примітка. HP – не регламентується.

Таким чином, основними легувальними елементами балістичних (броньових) сталей є Ni-Mn-Cr-Mo з мікролегуванням бором. Слід зазначити, що наведені броньовані сталі постачаються у вигляді гарячекатаного листового прокату. Однак для мінімізації впливу шкідливих домішок сірки та фосфору ці сталі доцільно виготовляти із застосуванням металургійних процесів, наприклад, виплавлянням із застосуванням позапічного оброблення, електрошлакового переплаву або прогресивними методами лиття.

© Samarai Valerii, Hnatush Vitalii, Fesenko Maksym, Datsenko Ivan, Nenia Olena, Kuchynskiyi Yurii, 2020

DOI (Article): [https://doi.org/10.36486/mst2411-3816.2020.1\(60\).15](https://doi.org/10.36486/mst2411-3816.2020.1(60).15)

Issue 1(60) 2020

<http://suchasnaspetstehnika.com/>

За результатами проведеного аналізу зарубіжних броньових сталей було розроблено вітчизняні сталі з оптимальним хімічним складом, який включає такі легувальні елементи як Fe-C-Ni-Mn-Cr-Mo-Si. У майбутньому, в умовах ливарного цеху ПрАТ “Вишневецький ливарно-ковальський завод” (далі – ВЛКЗ) була відпрацьована нова плавильно-ливарна технологія та виготовлені литим способом сталеві бронепласти (бронеплити) товщиною 7,6 мм, вагою 5,4 кг і розміром 300x35 мм.

Виготовлені бронепласти були випробувані кулями 7,62 мм зі сталевим та сталевим термозміцненим осердям з відстані 10 м. Випробування були успішними.

Також на ВЛКЗ було випробувано дослідні бронесталі з різними параметрами твердості, міцності і в'язкості, отримані завдяки різним режимам термічного оброблення. Наразі властивості зазначених сталей оптимізуються. У виробництво запущена партія бронепластин із визначеними технічними та експлуатаційними характеристиками.

Надалі автори планують використати підходи й методи системного аналізу та кібернетики для оптимізації хімічного складу й параметрів технологічного процесу для подальшого виробництва виробів із зазначених сталей, а також для моделювання поведінки готових виробів із них для спеціального захисту в бойових умовах. Це дасть змогу побудувати ефективну систему управління якістю при виробництві засобів спеціального захисту, підвищити якість виробів і їх конкурентоздатність.

Таким чином, проведений порівняльний аналіз хімічних складів та властивостей найпоширеніших броньових сталей зарубіжних виробників, технологічних особливостей їх виготовлення, а також галузей застосування дав змогу розробити ливарні технології виготовлення нових вітчизняних спеціальних броньованих сталей для виготовлення захисних виробів та підтвердити можливість їх реалізації.

Запропоновані технології зменшують економічні та енергетичні показники витрат на виготовлення вітчизняних спеціальних броньованих сталей і виробів із них з одночасним збереженням експлуатаційних характеристик на рівні зарубіжних аналогів.

Дослідні зразки вітчизняного сталевих бронезахисту пройшли випробування у сертифікованих балістичних лабораторіях, зокрема, у лабораторії Національного університету оборони України імені Івана Черняхівського.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Манжура С.А. Вибір матеріалів бронепластин для індивідуальних засобів бронезахисту сил охорони правопорядку. Системи озброєння і військова техніка, 2017. № 2(50). С. 89–93.
2. Дейнеко Л.М., Лобода П.І., Андреев А.О. та ін. Розробка параметрів комплексної технології обробки основних жорських елементів протикульових бронезилетів. Металознавство та термічна обробка металів. 2019. № 3. С. 17–25.
3. Григорян В.А., Кобылкин И.Ф., Маринин В.М. и др. Материалы и защитные структуры для локального и индивидуального бронирования. М.: РадиоСофт, 2008. 406 с.
4. Кобылкин И.Ф., Селиванов В.В. Материалы и структуры легкой бронезащиты: учебник. Москва: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2014. 191 с.
5. Броневые стали. ДонНТУ. URL: <http://masters.donntu.org/2008/mech/trifonov/library/s12.htm> (дата звернення: 13.12.19, 04.01.20).
6. Armor Materials Market by Type and Region-Global Forecast to 2022. 154 Pages Report. MarketsandMarkets. URL: <https://www.marketsandmarkets.com/> (дата звернення: 13.12.19, 04.01.20).
7. Body Armor Market Size, Share & Trends Analysis Report. Grand View Research, 2019. 193 p. URL: <https://www.grandviewresearch.com/> (дата звернення: 16.12.19, 10.01.20).
8. Data sheet 195 armoх 500t 2016-04-22. 3 p. URL: <https://www.oblibene.com> (дата звернення: 16.12.19, 10.01.20).
9. SWEBOR ARMOR™ 500. – 2 p. URL: <https://www.swebor.se/product/swebor-armor> (дата звернення : 16.12.19, 10.01.20).

© Samarai Valerii, Hnatush Vitalii, Fesenko Maksym, Datsenko Ivan, Nenia Olena, Kuchynskiy Yurii, 2020

DOI (Article): [https://doi.org/10.36486/mst2411-3816.2020.1\(60\).15](https://doi.org/10.36486/mst2411-3816.2020.1(60).15)

Issue 1(60) 2020

<http://suchasnaspetstehnika.com/>

10. Armoх 600T. Data sheet 197 armoх 600t 2014-03-06. – 3 p. URL: <https://www.oblibene.com/> (дата звернення: 18.12.19, 13.01.20).
11. SWEBOR ARMOR™ 600. – 1 p. URL: <https://www.swebor.se/product/swebor-armor/> (дата звернення: 18.12.19, 13.01.20).
12. [Data sheet 2033 Ramor 500 2015-02-27. – 3 p. URL: <https://www.oblibene.com/> (дата звернення: 18.12.19, 13.01.20).
13. Mars® 300. Industeel Trademark – Mars® 300 – 06/2018. 3 p. URL: <https://industeel.arcelormittal.com/> (дата звернення: 20.12.19, 15.01.20).
14. Mars® 600. Industeel Trademark – Mars® 600 – 06/2017. 3 p. URL: <https://industeel.arcelormittal.com/> (дата звернення: 20.12.19, 15.01.20).
15. SECURE 500. Material Specification 1943, January 2016. – 4 p. URL: <https://www.thyssenkrupp-steel.com/> (дата звернення: 22.12.19, 17.01.20).
16. Miilux Protection 38/400/450/500 Datasheet. 2 p. URL: <https://www.miilux.pl/> (дата звернення: 22.12.19, 17.01.20).
17. BISALLOY® Armour steel. 16 p. URL: <https://www.bisalloy.com.au/> (дата звернення: 22.12.19, 17.01.20).
18. Владимирова В.И. Физическая природа разрушения материалов. М.: Металлургия, 1984. 280 с.
19. Степанов Г.В., Маковей В.А. Прочность, разрушение и трещиностойкость материалов и конструкций при импульсных нагрузках: монография. К.: НТУУ “КПІ”, Изд-во “Політехніка”, 2016. 332 с.
20. Шаповалов Л.А. Моделирование в задачах механики элементов конструкций. М.: Машиностроение, 1990. 288 с.
21. Ciproeru S.J. The Mechanical Metallurgy of Armour Steels. Land Division Defence Science and Technology Group. Commonwealth of Australia, 2016. 42 p. URL: <https://apps.dtic.mil/> (дата звернення: 27.12.19, 20.01.20)
22. Armour Plate, Steel (3-160 mm) Defence Standard 95-24. Issue 2 Publication Date 2 September 2002. 30 p.

REFERENCES

1. Manzhura, S.A. (2017) Vybir materialiv broneplastyn dlia individualnih zasobiv bronezahistu sil ohoroni pravoporyadku. “Choice of Armored Plate Materials for Individual Means of Protection of Law Enforcement Forces”. Weapons Systems and Military Equipment 2(50), 89–93 [in Ukrainian].
2. Deineko, L.M., Loboda, P.I., Andriev, A.O. (2019) Rozrobka parametriv kompleksnoi tekhnologii obrobky osnovnykh zhorskykh elementiv protykolovykh bronezhyletiv. “Development of Parameters of Complex Technology of Processing of the Main Strong Elements of Anti-Bullet Vests”. Metal Science and Heat Treatment of Metals 3, 17–25 [in Ukrainian].
3. Grigoryan V.A., Kobylkin, I.F., Marinin, V.M. (2008) Materialy i zaschitnyie strukturyi dlya lokalnogo i individualnogo bronirovaniya. “Materials and Protective Structures for Local and Individual Reservations”. М.: RadioSoft. 406 p. [in Russian].
4. Kobylkin, I.F., Selivanov, V.V. (2014) Materialy i strukturyi legkoy bronezaschityi. “Materials and Structures of Light Armor Protection : textbook. Moscow: Publishing House MSTU. N. Bauman. 191 p. [in Russian]
5. Bronevyye stali. “Armor Steel”. DonNTU. URL: <http://masters.donntu.org/2008/mech/trifonov/library/s12.htm> (Date of Application: 13.12.19, 04.01.20) [in Russian].
6. Armor Materials Market by Type and Region-Global Forecast to 2022. 154 Pages Report. MarketsandMarkets. URL: <https://www.marketsandmarkets.com/> (Date of Application: 13.12.19, 04.01.20) [in English].
7. Body Armor Market Size, Share & Trends Analysis Report. Grand View Research, 2019.193 p. URL: <https://www.grandviewresearch.com/> (Date of Application: 16.12.19, 10.01.20) [in English].
8. Data sheet 195 armoх 500t 2016-04-22. – 3 p. URL: https://www.oblibene.com (Date of Application: 16.12.19, 10.01.20) [in English].
9. SWEBOR ARMOR™ 500. – 2 p. URL: https://www.swebor.se/product/swebor-armor (Date of Application: 16.12.19, 10.01.20) [in English].
10. Armoх 600T. Data sheet 197 armoх 600t 2014-03-06. – 3 p. URL: <https://www.oblibene.com/> (Date of Application: 18.12.19, 13.01.20) [in English].
11. SWEBOR ARMOR™ 600. – 1 p. URL: <https://www.swebor.se/product/swebor-armor/> (Date of Application: 18.12.19, 13.01.20) [in English].
12. Data sheet 2033 Ramor 500 2015-02-27. – 3 p. URL: <https://www.oblibene.com/> (Date of Application: 18.12.19, 13.01.20) [in English].

© Samarai Valerii, Hnatush Vitalii, Fesenko Maksym, Datsenko Ivan, Nenia Olena, Kuchynskiyi Yurii, 2020

DOI (Article): [https://doi.org/10.36486/mst2411-3816.2020.1\(60\).15](https://doi.org/10.36486/mst2411-3816.2020.1(60).15)

Issue 1(60) 2020

<http://suchasnaspetstehnika.com/>

13. Mars® 300. Industeel Trademark – Mars® 300 – 06/2018. – 3 p. URL: <https://industeel.arcelormittal.com/> (Date of Application: 20.12.19, 15.01.20) [in English].
14. Mars® 600. Industeel Trademark – Mars® 600 – 06/2017. – 3 p. URL: <https://industeel.arcelormittal.com/> (Date of Application : 20.12.19, 15.01.20) [in English].
15. SECURE 500. Material Specification 1943, January 2016. – 4 p. URL: <https://www.thyssenkrupp-steel.com/> (Date of Application: 22.12.19, 17.01.20) [in English].
16. Miilux Protection 38/400/450/500 Datasheet. – 2 p. URL: <https://www.miilux.pl/> (Date of Application: 22.12.19, 17.01.20) [in English].
17. BISALLOY® Armour steel. – 16 p. URL: <https://www.bisalloy.com.au/> (Date of Application: 22.12.19, 17.01.20) [in English].
18. *Vladimirov, V.I.* (1984) Fizicheskaya priroda razrusheniya materialov. “The Physical Nature of the Destruction of Materials”. M.: Metallurgy. 280 p. [in Russian].
19. *Stepanov, G.V., Makovey, V.A.* (2016) Prochnost, razrushenie i treschinostoykost materialov i konstruktsiy pri impulsnykh nagruzkah. “Strength, Fracture and Crack Resistance of Materials and Structures under Pulsed Loads”: monograph. K.: NTUU “KPI”, Publishing house “Politehnika”. 332 p. [in Russian].
20. *Shapovalov, L.A.* (1990) Modelirovanie v zadachah mehaniki elementov konstruktsiy. “Modeling in Tasks of Mechanics of Structural Elements”. M.: Mechanical Engineering. 288 p. [in Russian].
21. *Cimpoeru, S.J.* (2016) The Mechanical Metallurgy of Armour Steels. Land Division Defence Science and Technology Group. Commonwealth of Australia. 42 p. URL: <https://apps.dtcil.mil/> (Date of Application: 27.12.19, 20.01.20) [in English].
22. Armour Plate, Steel (3-160 mm) Defence Standard 95-24. Issue 2 Publication Date 2 September, 2002. 30 p. [in English].

UDC 623. 438.2 (001.57)

Samarai Valerii,

Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor, Research Fellow of the State Research Institute MIA Ukraine, Kyiv, Ukraine,
ORCID ID 0000-0003-4419-1366

Hnatush Vitalii,

Cand. Sci. (Engineering), independent analyst, Kyiv, Ukraine,
ORCID ID 0000-000-3-0772-686X

Fesenko Maksym,

Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor, Research Fellow of the State Research Institute MIA Ukraine, Kyiv, Ukraine,
ORCID ID 0000-0001-8218-4154

Datsenko Ivan,

Cand. Sci. (Engineering), Doctoral Student of the National Defense University of Ukraine named after I. Chernyakhovsky, Kyiv, Ukraine,
ORCID ID 0000-0002-0047-413X

Nenia Olena,

Candidate of Juridical Science, Head of the Department of the State Research Institute MIA Ukraine, Kyiv, Ukraine,
ORCID ID 0000-0001-9721-5718

Kuchynskiy Yurii,

Candidate of Juridical Science, Head of the Research Lab of the State Research Institute MIA Ukraine, Kyiv, Ukraine,
ORCID ID 0000-0003-0485-4778

STATE MANUFACTURING OF STEEL PRODUCTION AND ARMOR

Paper deals with the analysis of the most common ballistic steels of foreign production (Sweden, France, Germany, Poland, Australia, Great Britain, USA), which

© Samarai Valerii, Hnatush Vitalii, Fesenko Maksym, Datsenko Ivan, Nenia Olena, Kuchynskiy Yurii, 2020

DOI (Article): [https://doi.org/10.36486/mst2411-3816.2020.1\(60\).15](https://doi.org/10.36486/mst2411-3816.2020.1(60).15)

Issue 1(60) 2020

<http://suchasnaspetstehnika.com/>

are used for the protection of personnel of the military, police, security services, as well as special vehicles.

Comparison of their chemical compositions, basic mechanical and special properties (tensile and flexural strength, hardness, toughness, weldability) is made. The peculiarities of technological processes of their production and application are described.

It is established that the use of casting methods is a promising area of production of ballistic steel protection products.

The research was carried out and the results of the development of foundry technologies of production of new domestic armored (ballistic) steels were suggested.

The implementation of the proposed foundry technologies for the production of protection products from special steels has been confirmed.

Optimal chemical compositions of the proposed steels, melting and casting modes and conditions of their obtaining with the given structure and properties are determined.

According to the established regimes, research specimens of armor protection were made, which were tested in ballistic laboratories with shelling of bullets of different caliber with the receipt of appropriate protocols.

Recommendations and technical instructions for launching the production of a batch of armor protection at Ukrainian enterprises have been formulated.

Investigated foundry technologies simplify the process of production of armor protection from special steels, provide reduction of energy and economic costs for their production while maintaining mechanical characteristics at the level of foreign analogues.

It is noted that in the future it is necessary to continue the research using approaches and methods of system analysis, cybernetics to optimize the parameters of the technological process of ballistic steel production, as well as modeling the nature of materials and finished products of special protection in combat conditions. This in turn will allow us to build an effective quality management system for the production of special protection products and their competitiveness.

Keywords: armor steel, armor plate, bulletproof vest, protective products, foundry technologies, chemical composition, hardness, strength, viscosity, ballistic tests.

Отримано 03.02.2020

Рецензент к.т.н. Марченко О.С.