

ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПАСПОРТУ МАТЕРІАЛУ ДЛЯ БРОНЬОВАНОЇ СТАЛІ

В роботі сформовано технологічний паспорт матеріалу для броньованої сталі марки 45Х2НМФБА. Наведено особливості розрахунку функцій матеріалу (що формують паспорт матеріалу), які відображають властивості матеріалу залежно від ступеня деформації та схеми напруженого стану. Отримані залежності (крива течії, діаграма пластичності, градувальний графік) дозволять в подальшому надавати рекомендації під час побудові технологічних процесів виготовлення елементів (конструкцій) бронезахисту. Використовуючи функції, представлені в даній роботі, виробники ще на стадії проектування зможуть задавати необхідну енергопоглинальність конкретних елементів броньованих конструкцій, що дозволить значно зменшити негативні силові дії засобів ураження на людину та техніку.

Ключові слова: технологічний паспорт матеріалу, функції матеріалу, броньована сталь, бронезахист.

FEATURES OF THE FORMATION OF THE TECHNOLOGICAL PASSPORT OF THE MATERIAL FOR ARMORED STEEL

In this work, a technological passport of material for armored steel of the brand 45X2HMФBA is formed. The features of the calculation of material functions (forming the material passport) are presented, which reflect the material properties depending on the degree of deformation and the stress state scheme. The obtained dependencies (flow curve, plasticity diagram, calibration graph) will allow providing further recommendations in the construction of the technological processes of manufacturing elements (structures) of armor protection.

Using the features presented in this work, manufacturers can at the design stage be able to set the required energy absorption of specific elements of armored structures, which will significantly reduce the negative force effects of damage to humans and equipment.

Keywords: a technological passport of material, material functions, armored steel, armor protection.

Стрімке зростання необхідності захисту нашої країни зумовлює створення безпечних броньових конструкцій (елементів) захисту (бронежилетів, бронешоломів, бронетранспортерів, танків, броньованих пластин і т. д.) (рис. 1), оскільки рівень захищеності диктується тенденціями розвитку відповідних засобів ураження супротивника.



Рис. 1. Різновиди бронезахисту

Найбільш розвиненим виробникам бронезахисту ще на стадії проектування потрібно задавати необхідну енергопоглинальність конкретних елементів броньованих конструкцій. Це дозволить значно зменшити негативні силові дії засобів ураження на людину та техніку.

Під час експлуатації броньованих сталей, з яких виготовляють бронежилети, броньові пластини для бронетехніки, виникає необхідність оцінки їх якості та деформаційної здатності поглинати енергію при проникненні індентора (кулі, снаряду).

Метою роботи є формування паспорта матеріалу для броньованої сталі марки 45Х2НМФБА та отримання залежностей, які дозволять в подальшому надавати рекомендації при побудові технологічних процесів виготовлення елементів (конструкцій) бронезахисту.

В даній роботі проведені дослідження з визначення фізико-механічних характеристик сталі марки 45Х2НМФБА, яка використовується під час створення елементів бронезахисту [1].

В теорії обробки металів тиском, де розглядаються великі пластичні деформації (кінцеві деформації) таких стандартних механічних характеристик, як границя текучості – $\sigma_{0,2}$, границя пружності – $\sigma_{пр}$, границя пропорційності – $\sigma_{пр}$, границя міцності – σ_{ϵ} , а також характеристик пластичності – відносне залишкове видовження – $\delta = \frac{l_i - l_0}{l_0} \cdot 100\%$, відносне залишкове звуження – $\psi_{ш} = \frac{A_0 - A_{ш}}{A_0} \cdot 100\%$ (табл. 1), далеко недостатньо для опису механіки процесів обробки металів тиском.

Таблиця 1

Характеристики матеріалу							
Марка сталі	Номінальний хімічний склад	Твердість, HV, МПа	KCU, кДж/м ²	$\sigma_{0,2}$, МПа	σ_{ϵ} , МПа	δ , %	$\psi_{ш}$, %
45X2HMФБА	0,50C–0,37Si– 1,10Cr–1,80Ni– 0,80Mn–0,30Mo– 0,18V–0,30Cu	1800–2200	390	1550	1700 – 1900	10	30 – 40

В останні роки, розглянуті представлення про властивості матеріалу у вигляді функцій знаходять широке застосування при моделюванні процесів обробки металів тиском.

Такими універсальними механічними характеристиками матеріалів є функції матеріалу, які відображають властивості матеріалу залежно від ступеня деформації (здатність до зміцнення), схеми напруженого стану, історії деформування.

Базуючись на відомих методиках [2–9], будуються наступні функції матеріалу, які формують, так званий, «технологічний паспорт матеріалу» у вигляді різних функцій, таких як крива течії матеріалу; діаграма пластичності; тарувальний графік (твердість – інтенсивність напружень – інтенсивність деформацій).

Криві течії необхідні для проектування операцій обробки металів тиском.

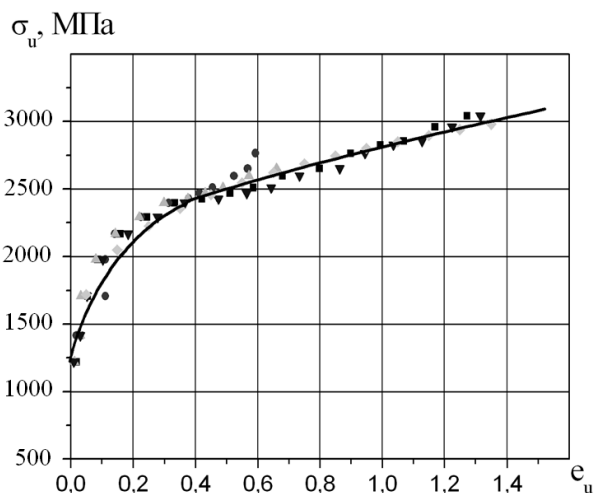
В теорії обробки металів тиском при ізотропному зміцненні часто застосовують рівняння кривої течії за П. Людвіку [4, 5]:

$$\sigma_u = A \epsilon_u^n, \quad (1)$$

де σ_u – інтенсивність напружень, ϵ_u – інтенсивність деформацій, A , n – коефіцієнти апроксимації кривої течії матеріалу.

Варто відмітити, що залежно від того, які елементи броньованих конструкцій необхідно виготовити для ізотропного матеріалу з ізотропним зміцненням, як правило, криву течії будують за результатами випробування або на розтяг стандартних плоских (для листових матеріалів) або циліндричних зразків за ГОСТ 1497-84, ГОСТ 11701-64. Іноді для побудови кривої течії в області великих деформацій використовують циліндричні зразки на стиск.

В результаті проведення випробувань зразків, виготовлених з матеріалу досліджуваних елементів конструкцій, отримано криву течії матеріалу в координатах «інтенсивність напружень σ_u , інтенсивність деформацій ϵ_u » (рис. 2).



(● – експериментальні дані випробувань на стиск,
— апроксимація згідно рівняння (1))

градієнт деформації і ін.

Як правило, діаграми пластичності будують за результатами трьох видів випробувань: на стиск,

де формулі (1) A , n – коефіцієнти апроксимації, що мають фізичний зміст: для матеріалу, що ізотропно зміцнюється $A = \sigma_u$ при

$\epsilon_u = 1$, $n = \epsilon_{кр}$ – критична деформація при умовному максимальному напруженні. Для матеріалу сталь 45X2HMФБА коефіцієнти апроксимації $A = 2893$ МПа, $n = 0,23$.

Діаграма пластичності, що є по суті одною із механічних характеристик матеріалу, будують в координатах – накопичена інтенсивність деформацій до моменту руйнування (далі будемо називати її граничною деформацією – ϵ_p) – показник напруженого стану (η) [2, 4].

Універсальними термомеханічними характеристиками, від яких залежить пластичність металів, є швидкість деформації, температура, вид (схема) напруженого стану, історія деформування,

зсув, розтяг з наступною апроксимацією [3–6].

Як було зазначено в роботах [4, 6] в області зміни показника $0 \leq \eta \leq 1$ спостерігається аномальне підвищення граничної деформації зумовлене її локалізацією. Тому базуючись на розрахунках запропонованих в роботах [7, 9] розрахунок показника напруженого стану η пропонується вести за формулою

$$\eta = 1 + 3 \ln \left(1 + \frac{d_{кр}}{4} \cdot \nu \right), \tag{2}$$

де $\nu = D \cdot \exp \left(-\frac{d_u}{f} \right)$ – експоненціальна залежність,

$$D = 1,318 \text{ мм}^{-1}; f = 1,86 \text{ мм}; d_{кр} = \frac{d_u + d_{cm}}{2 \cdot 1,11}; d_u \text{ – діаметр по шийці зруйнованого зразка, мм};$$

d_{cm} – діаметр циліндричного зразка в місці рівномірної стійкої деформації, мм.

Граничну деформацію ε_p потрібно розраховувати за формулою

$$\varepsilon_p = 2 \ln \frac{2 \cdot d_0 \cdot 1,11}{(d_u + d_{cm})}, \tag{3}$$

де d_0 – діаметр робочої частини зразка до деформування.

В результаті проведених вищезазначених випробувань, використовуючи методики розрахунків запропонованих в роботах [2-9] побудована діаграма пластичності сталі 45X2НМФБА (рис. 3).

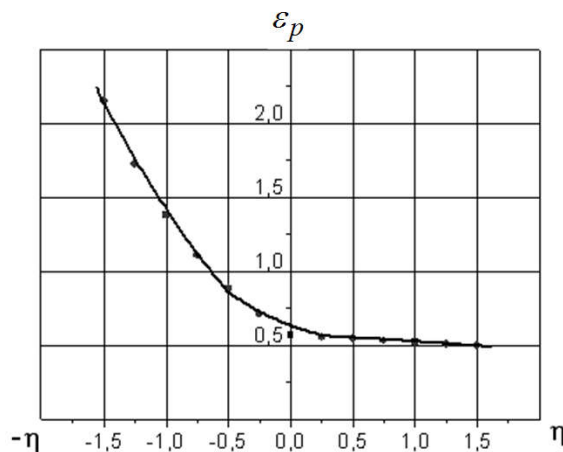


Рис. 3. Діаграма пластичності сталі 45X2НМФБА

Градуювальний (гарувальний) графік – твердість залежно від інтенсивності напружень, інтенсивності деформацій $HV = f(\sigma_u, e_u)$ (рис. 4).

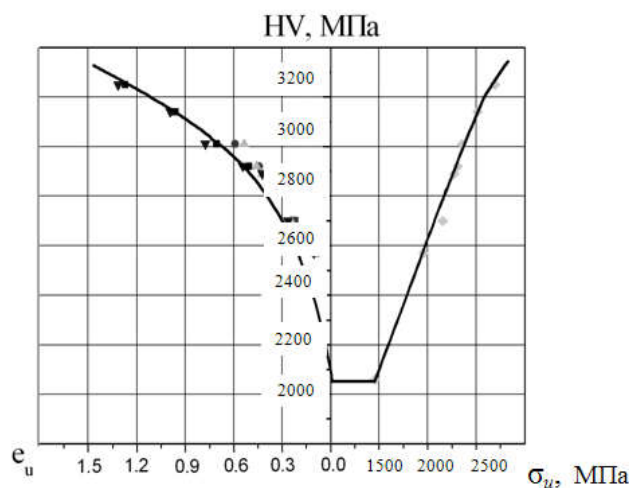


Рис. 3. Градуювальний графік

Варто зауважити, що вимоги по твердості залежать від товщини броньованого листа [1], а саме:

- при товщині 6,2...12,6 мм - HB 341...388;
- при товщині 12,7...19,0 мм - HB 331...375;
- при товщині 19,1...31,7 мм - HB 321...375;
- при товщині 31,8...50,5 мм - HB 293...331;
- при товщині 50,5...101,3 мм - HB 269...311.

Базуючись на експериментальних даних отриманих в роботі [2] при випробуванні листових матеріалів різної товщини, можна зробити висновок, що зі збільшенням товщини металу твердість зменшується. Під час проведення всіх досліджень [2, 9] при досягненні степені деформації $\varepsilon_{II} = 0,2 - 0,3$ зв'язок між твердістю та інтенсивністю напружень наближається до лінійного і має вид

$$\sigma_u = KH, \quad (4)$$

де K – коефіцієнт пропорційності;
 H – твердість.

Висновки

В даній роботі сформовано технологічний паспорт матеріалу для броньованої сталі марки 45X2NMФБА. Отримані залежності дозволять в подальшому надавати рекомендації при побудові технологічних процесів виготовлення елементів (конструкцій) бронезахисту.

За допомогою запропонованих підходів формуються моделі матеріалів, які є основою для розрахунку напружено-деформованого стану під час виготовлення елементів бронезахисту, а також розрахунку енергосилових параметрів процесів деформування.

Література

1. Частные вопросы конечной баллистики / Григорян В. А., Белобородко А.Н., Дорохов Н.С. и др. – М. : МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2006. – 591 с. : ил. – ISBN 5-7038-2798-1.
2. Огородников В. А. Энергия. Деформации. Разрушение (задачи автотехнической экспертизы) : [монография] / Огородников В. А., Киселев В. Б., Сивак И. О. – В. : УНІВЕРСУМ–Вінниця, 2005. – 204 с.
3. Дель Г.Д. Технологическая механика / Дель Г.Д. – М. : Машиностроение, 1978. – 174 с.
4. Огородников В.А. Оценка деформируемости металлов при обработке давлением / Огородников В. А. – К. : Вища школа. Головное изд-во, 1983. – 175 с.
5. Малинин Н. М. Прикладная теория пластичности и ползучести / Н. М. Малинин – М. : Машиностроение, 1975. – 400 с.
6. Огородников В.А. Деформируемость и разрушение металлов при пластическом формоизменении / Огородников В.А. – К. : УМК ВО, 1989. – 152 с.
7. Кириця І.Ю. Особливості розрахунку параметрів напружено-деформованого стану та побудови діаграм пластичності в зоні локалізації деформації під час розтягу циліндричних зразків / І.Ю. Кириця // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2014. – № 2. – С. 101–107.
8. Огородников В.А. Диагностика материалов в задачах технологической механики и автотехнических экспертизах / В.А. Огородников, В.Е. Перлов, И.Ю. Кирица // Вісник Національного технічного університету України "КПІ". Серія: Машиностроение. – 2008. – № 52. – С. 21–26.
9. Огородников В. А. Механіка процесів холодного пластичного деформування вісесиметричних заготовок з глухим отвором : [монография] / Огородников В. А., Кириця І.Ю., Перлов В.С. – Вінниця : ВНТУ, 2015. – 164 с.

References

1. Chastnye voprosy konechnoj ballistiki / Grigoryan V. A., Beloborodko A.N., Dorohov N.S. i dr. – M. : MG TU im. N. E. Bauman a, 2006. – 591 s. : il. – ISBN 5-7038-2798-1.
2. Ogorodnikov V. A. Energiya. Deformatsii. Razrushenie (zadachi avtotehnicheskoi ekspertizy) : [monografiya] / Ogorodnikov V. A., Kiselev V. B., Sivak I. O. – V. : UNIVERSUM–Vinnicya, 2005. – 204 s.
3. Del G.D. Tehnologicheskaya mehanika / Del G.D. – M. : Mashinostroenie, 1978. – 174 s.
4. Ogorodnikov V.A. Ocenka deformiruемости metallov pri obrabotke davleniem / Ogorodnikov V. A. – K. : Visha shkola. Golovnoe izd-vo, 1983. – 175 s.
5. Malinin N. M. Prikladnaya teoriya plastichnosti i polzuchesti / N. M. Malinin – M. : Mashinostroenie, 1975. – 400 s.
6. Ogorodnikov V.A. Deformiruемость i razrushenie metallov pri plasticheskom formoizmenenii / Ogorodnikov V.A. – K. : U MK VO, 1989. – 152 s.
7. Kyrytsia I.Iu. Osoblyvosti rozrakhunku parametriv napruzhenno-deformovanoho stanu ta pobudovy diahram plastichnosti v zoni lokalizatsii deformatsii pid chas roztyahu tsylindrychnykh zrazkiv / I.Iu. Kyrytsia // Visnyk Vinnytskoho politekhnichnoho instytutu. – 2014. – № 2. – S. 101–107.
8. Ogorodnikov V.A. Diagnostika materialov v zadachah tehnologicheskoi mehaniki i avtotehnicheskikh ekspertizah / V.A. Ogorodnikov, V.E. Perlov, I.Yu. Kirica // Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu Ukrainy "KPI". Seriya: Mashynostroenyie. – 2008. – № 52. – S. 21–26.
9. Ohorodnykov V. A. Mekhanika protsesiv kholodnoho plastychnoho deformuvannya visesymetrychnykh zahotovok z hlukhy m otvorom : [monohrfiia] / Ohorodnykov V. A., Kyrytsia I.Iu., Perlov V.Ie. – Vinnitsia : VNTU, 2015. – 164 s.

Рецензія/Peer review : 14.02.2020 р.

Надрукована/Printed : 16.6.2020 р.
 Рецензент: д.т.н., проф. А. П. Поляков