

Lech STARCZEWSKI

Wojskowy Instytut Techniki Pancernej i Samochodowej, Sulejówkę;
Uniwersytet Warmińsko-Mazurski, Wydział Nauk Technicznych

Stanisław SZCZĘCH

Huta Stalowa Wola-Huta Stali Jakościowych S.A

Dariusz TUDYKA

Wojskowe Zakłady Mechaniczne S.A., Siemianowice Śląskie

BADANIA STALI PANCERNYCH W ASPEKCIE ICH SKUTECZNOŚCI OCHRONNEJ

Podstawowym kryterium oceny właściwości funkcjonalnych stosowanych w budowie pojazdów wojskowych blach pancernych jest ich odporność na przebicie pociskami przeciwpancernymi. W prowadzonych badaniach, zastosowano metodę wyznaczenia krytycznej prędkości uderzenia pocisku w badaną blachę, dla której zachodzi prawdopodobieństwo 50% skuteczności ochronnej – kryterium V50. W referacie zostanie opisana metodyka badań i sposób wyznaczania krytycznej prędkości V50. Zostaną przedstawione, niepublikowane dotychczas, wyniki badań uzyskane dla blach pancernych o grubościach od 3,5 do 8 mm ostrzelanych pociskami przeciwpancernymi kalibru 7,62 mm. Uzyskane wartości krytycznych prędkości zostaną zestawione z wynikami badań właściwości mechanicznych i budowy strukturalnej blach.

Słowa kluczowe: blachy pancerne, obróbka cieplna, mikrostruktura, własności mechaniczne, własności balistyczne

TESTS OF ARMOUR STEELS IN VIEW OF THEIR PROTECTIVE EFFICIENCY

Resistance to perforation by armour-piercing missiles is a fundamental criterion in assessment of the functional properties of armour plates used in construction of the military vehicles. The method of determination of the critical velocity of missile hit into the examined plate, with 50% probability of protective effectiveness – V50 criterion was applied in the concerned research. The paper will present the methodology of research and manner of determining the critical velocity V50. The hitherto unpublished results of research will be presented, obtained for armour plates of thickness from 3.5 mm to 8 mm, shot with armour-piercing missiles, calibre 7.62 mm. The achieved values of critical velocities shall be compared with results of mechanical properties tests and examination of structural composition of plates.

Keywords: armour plates, heat treatment, microstructure, mechanical properties, ballistic properties

1. WPROWADZENIE

Pomimo intensywnego rozwoju niemetalowych materiałów konstrukcyjnych, stale pancerne są nadal podstawowym materiałem współczesnych pancerzy warstwowych. Doświadczenia wojenne ostatnich konfliktów dowodzą również, że stal jest najtańszym i skutecznym materiałem na osłony, a połączona z laminatami zbrojonymi włóknami z osnową polimerową – dobrą osłoną przeciwołamkową.

Wprowadzenie nowych gatunków stali, czystość wytopów, nowoczesne obróbki pozapiecowe i możliwość sterowania właściwościami w czasie produkcji, powoduje uzyskiwanie przez blachy pancerne wyższych wytrzymałości i bardziej stabilnych właściwości. Szczególnie pożądanym jest wzrost udatności, przy zachowaniu plastyczności stali. W podstawowej klasyfikacji wyróż-

nia się dwa rodzaje homogenicznych blach pancernych. Blachy o średniej twardości, tj. według umownego podziału o twardości 300–380HB (często określane jako RHA) oraz o wysokiej i bardzo wysokiej twardości, tj. z przedziału 500–600HB, a nawet 650HB.

Blachy o średniej twardości są wytwarzane z gatunków stali nisko i średniostopowych. Obróbka cieplna tych blach polega na ulepszaniu cieplnym składającym się z hartowania w wodzie (w sposób zanurzeniowy lub natryskiem) lub w oleju i następnego odpuszczania, zwykle w temperaturze z zakresu 180–300°C lub 500–600°C. Materiał tych blach cechuje odpowiednio wysoka ciągliwość, przy jednocześnie niskiej temperaturze przejścia w stan kruchy. Natomiast na blachy o wysokiej twardości (480–550HB) i o bardzo wysokiej twardości (powyżej 550HB) stosuje się również gatunki stali nisko i średniostopowych z tym, że są one ulepszone cieplnie

z niskotemperaturowym odpuszczaniem. Ponadto są stosowane gatunki stali do ulepszania cieplnego, wykazujące tzw. twardość wtórną podczas odpuszczania w zakresie temperatury 500–600°C, stale dwufazowe czy też drogie, wysokostopowe typu maraging. Wybór składu chemicznego stali i sposobu obróbki cieplnej jest zależny od konkretnego zastosowania, uwzględniającego takie cechy, jak: odporność balistyczna (kuloodporność, odporność na uderzenia dynamiczne) grubość blach, twardość, zdolność do spawania i inne.

W ostatnich 10 latach zintensyfikowano prace nad blachami o zróżnicowanej twardości na przekroju poprzecznym. Technologia pozwalająca na otrzymywanie takich blach pancernych jest jednostronne lub dwustronne hartowanie na określoną głębokość w prasie hartowniczej z następnym niskim odpuszczaniem. Innym sposobem zróżnicowania twardości na przekroju poprzecznym blach jest utwardzanie warstwowe.

Aktualnie w świecie trwają intensywne prace nad produkcją cienkich (1,5–3,0 mm) stalowych blach pancernych z nowych półfabrykatów wyjściowych, w celu znacznego obniżenia masy pancerzy.

W Polsce do 2000 r. nie były produkowane stale pancerne spełniające wymagania normy MIL-A-46100E(MR). Zapotrzebowanie krajowe na stale pancerne o wyższej wytrzymałości niż dotychczas produkowana stal w gat. 2P, spowodowało uruchomienie prac B+R, w wyniku których powstały produkty spełniające wymagania ww. normy i swoimi właściwościami mechaniczno-funkcjonalnymi równoważne wysokojakościowym produktom renomowanych firm. Skład chemiczny nowo opracowanych gatunków stali odpowiadał kryterialnym poziomom podstawowych pierwiastków stopowych określonym w normie MIL-A-46100 E(MR). Cechą wspólną, ale i różniącą była % zawartość boru. Bor jest pierwiastkiem, który korzystnie wpływa na hartowność stali.

W tablicy 1 zestawiono właściwości mechaniczne blach z najbardziej rozpowszechnionych gatunków stali pancernych z uwzględnieniem odpowiedników krajowych.

Blachy pancerne po odpowiedniej obróbce cieplnej powinny charakteryzować się przede wszystkim wymaganą twardością na powierzchni i w rdzeniu. Rozrzut twardości w obrębie arkusza lub elementu obrabianego cieplnie jest określony w WT odbioru i według np. GOST 21967, MIL-A-46100E(MR), MIL-A-12560H (MR) nie powinien być większy niż wynikający z różnicy średnicy odcisków (przy obciążeniu 3000 kG) wynoszącej 0,15 mm. Ponadto powinny mieć możliwie wysoką umowną granicę plastyczności $R_{p0,02}$ w stosunku do granicy wytrzymałości, dobrą plastyczność określoną wydłużeniem względnym A_5 próbek wytrzymałościowych lub wynikiem próby zginania na trzpieniu o określonej średnicy „d” do określonego kąta, małą anizotropowość właściwości mechanicznych w kierunku wzdłużnym i poprzecznym do kierunku walcowania, niską temperaturę przejścia w stan kruchy, którego kryterium stanowi minimalna wartość udarności w temperaturze badanej (-40°C lub -50°C), równomierną mikrostrukturę martenzytu odpuszczonego lub sorbitu bez wydzieleni składników strukturalnych obniżających właściwości mechaniczne (ferryt, bainit) oraz dobrą spawalność w przypadku stosowania blach na kadłuby pojazdów opancerzonych.

Wymagania należy rozpatrywać w dwóch aspektach: odpowiednich właściwości materiałowych (skład chemiczny, mikrostruktura, parametry wytrzymałości mechanicznej) oraz właściwości użytkowych (funkcjonalnych). W pierwszym przypadku istotnymi czynnikami są: powtarzalny skład chemiczny gatunku stali mający wpływ na stabilność równoważnika węgla, jakość procesu walcowania z wąskim zakresem tolerancji temperatury i gniołów w procesie walcowania, ulepsza-

Tablica 1. Właściwości mechaniczne wybranych blach pancernych [1]

Table 1. Mechanical properties of the selected armour plates [1]

Gatunek stali	Grubość blachy [mm]	$R_{p0,2}$ [MPa]	R_m [MPa]	A_5 [%]	Praca łamania [J] ISO-V -40°C	HB
XH 129	4–25	1400	1700	–	14	477–534
Armox 500T	6,13	1300	1500–1750	8	20	480–540
Armox 560T	do 100	1300	1600–1900	7	15	530–580
Armox 440T	do 50	1100	1250–1550	10	30	420–480
Hardox 400	do 50	1000	1250	10	30	360–440
Hardox 500	do 50	1300	1550	8	25	450–530
Weldox 900E	do 25	960	1060	14	30	–
2P (wg GOST-21967)	do 25	ok 1350	ok. 1600	10	ok. 20	444–514
450 PM	do 20	1217	1483	12,5	≥ 30	≥ 430
30 PM	do 20	1300	1600	8	≥ 20	460–540
ARMSTAL 550	do 20	1600	1900	7	≥ 15	≥ 550
HCM 480 MILAR	8–40	1250	1450–1750	8	min. 20	480–520
HCM 580 MILAR	8–40	1500	2000	7	min. 12	580–620

Gatunki PM 450; 30 PM; ARMSTAL 550 oraz HCM 480 MILAR, HCM 580 MILAR są krajowymi odpowiednikami gat. Armox 440T, Armox 500T, Armox 560T.

Tablica 2. Wymagania właściwości mechanicznych blach pancernych wg MIL-A-12560H (MR) i MIL-A-46100 E(MR)

Table 2. Requirements as to the mechanical properties of armour plates according to MIL-A-12560H (MR) and MIL-A-46100 E(MR)

Parametr wytrzymałościowy	Twardość HB ¹⁾			
	370–430	420–480	480–540	>550
R_m [N/mm ²] ²⁾	min. 1250	1250–1550	1450–1750	>1600
$R_{p0.2}$ [N/mm ²] ²⁾	min. 1000	min. 1100	min. 1250	>1250
A_5 [%] ²⁾	min. 10	min. 10	min. 8	min. 8
Charpy-V (–40°C) [J] ³⁾	min. 45	min. 30	min. 20	min. 15

¹⁾ twardość Brinella wg PN-EN ISO 6506-1;²⁾ wytrzymałość na zerwanie wg PN-EN10002-1³⁾ udarność Charpy'ego wg PN-EN 10045 -1

nie ciepłe z wąskim zakresem tolerancji temperatury zarówno w procesie hartowania, jak i odpuszczania. Powyższe procesy są trudne do jednoznacznego zdefiniowania ze względu na różnorodność gatunków stali i warunków technologicznych produkcji w hucie i walcowni. Funkcją wynikową są optymalne parametry wytrzymałościowe blach pancernych (tablica 2). W drugim przypadku oczekuje się uzyskania możliwie najlepszych (wysokich) właściwości balistycznych (kulo- i odłamko-odporności) oraz technologicznych (zdolność do gięcia, spawalność, stabilność wymiarów – grubość, stabilność błędów kształtu – płaskość, falistość, sierpowatość oraz jakość powierzchni blachy).

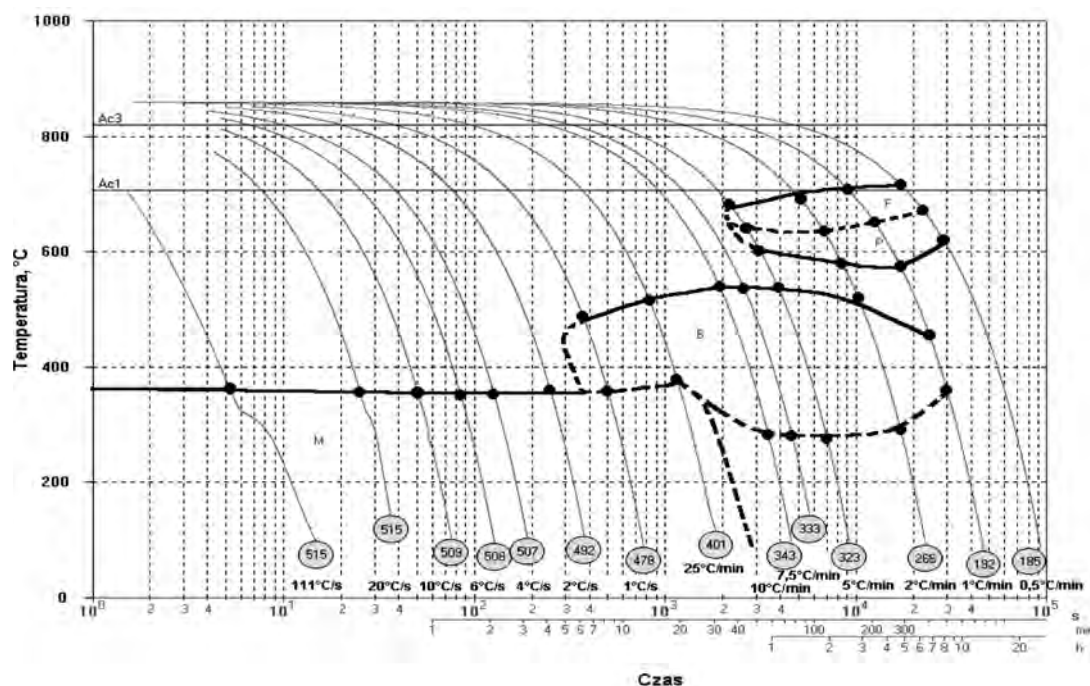
Celem prowadzonych badań było wykazanie, że zastosowane parametry ulepszania cieplnego, umożliwiły otrzymanie mikrostruktury blach pancernych wykonanych ze stali zawierającej bor, o korzystnych, wysokich właściwościach mechanicznych i jednocześnie wysokich właściwościach balistycznych.

Prezentowany artykuł, ma charakter pewnego podsumowania wcześniejszych wyników badań własnych, zintegrowanego zespołu kilku jednostek w ramach konsorcjum naukowo-przemysłowego, mających na celu opracowanie krajowej stali pancernej spełniającej wymogi NATO [1, 2, 4, 5, 7].

2. BADANIA MIKROSTRUKTURY I WŁAŚCIWOŚCI MECHANICZNYCH WYBRANYCH BLACH PANCERNYCH

Z przeprowadzonej analizy składu chemicznego dla dwóch gatunków stali: 30 PM i MILAR 480 HCM w odniesieniu do MIL-A-46100 E(MR) – tablica 3 wynika, że pomimo różnic w ilości niektórych pierwiastków stopowych, cechą wspólną ww. gatunków jest zbliżona zawartość boru. Ponieważ stal 30 PM charakteryzuje się większą zawartością chromu, to przy podobnej ilości boru powinna w wyniku obróbki cieplnej hartować się do wyższych twardości. Ta właściwość jest korzystna z punktu widzenia kuloodporności. Z tego też względu, ten gatunek stali wytypowano do dalszych badań. Koncentrowano się w nich na postaci martenzytu w strukturze i wartości granicy plastyczności, co ma zasadniczy wpływ na udarowe pękanie.

W wyniku wykonanych badań dylatometrycznych opracowano krzywe CTPc przemian fazowych oraz wyznaczono temperaturę przemian Ac_3 , Ac_1 i Ms . Na tej podstawie zweryfikowano technologię obróbki cieplnej blach pancernych. Przeprowadzone eksperymenty z różną prędkością chłodzenia wykazały zmienność mi-



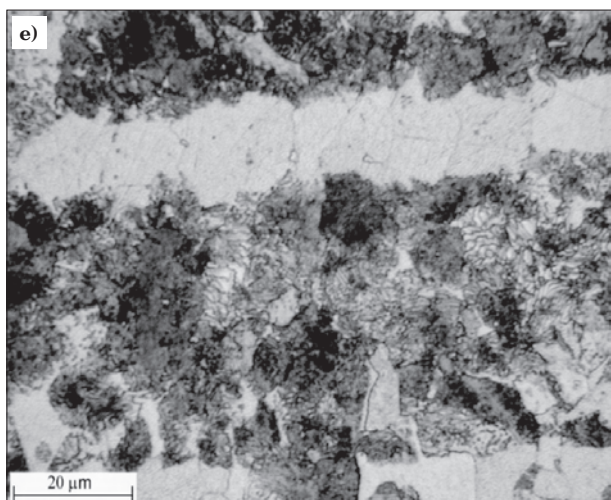
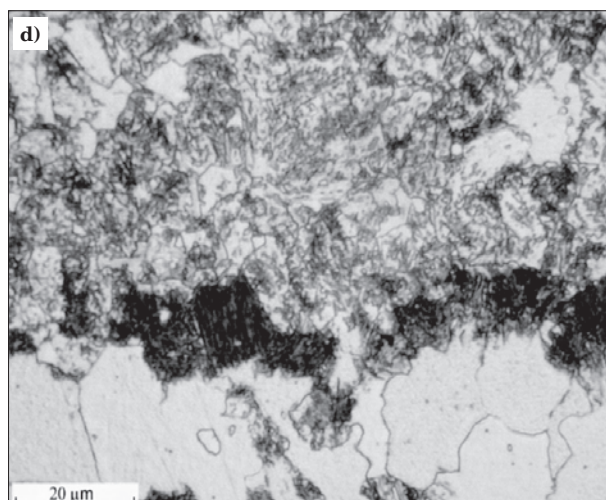
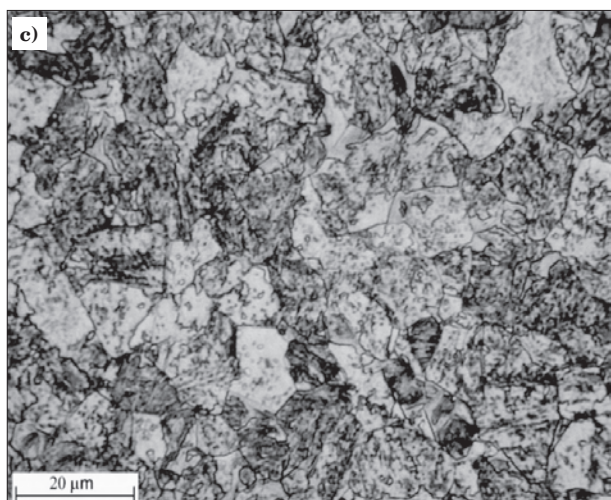
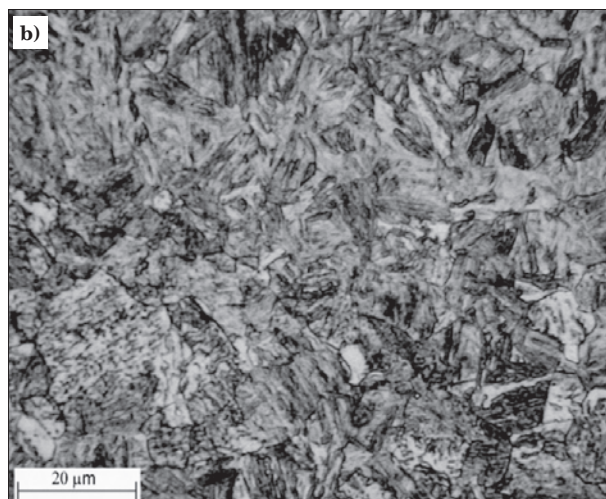
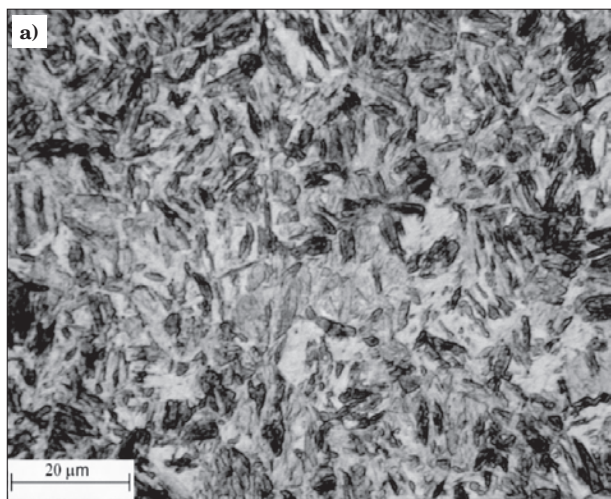
Rys. 1. Wykres przemian fazowych stali 30 PM chłodzonej w sposób ciągły z temperatury austenitizowania 860°C po wytrzymaniu w niej w czasie 1200 s [3]

Fig. 1. Diagram of phase transformations of 30PM steel subject to continuous cooling from the austenitizing temperature of 860°C after remaining in it for 1200 s in the said temperature [3]

Tablica 3. Skład chemiczny analizowanych gatunków stali pancernych [2, 4]

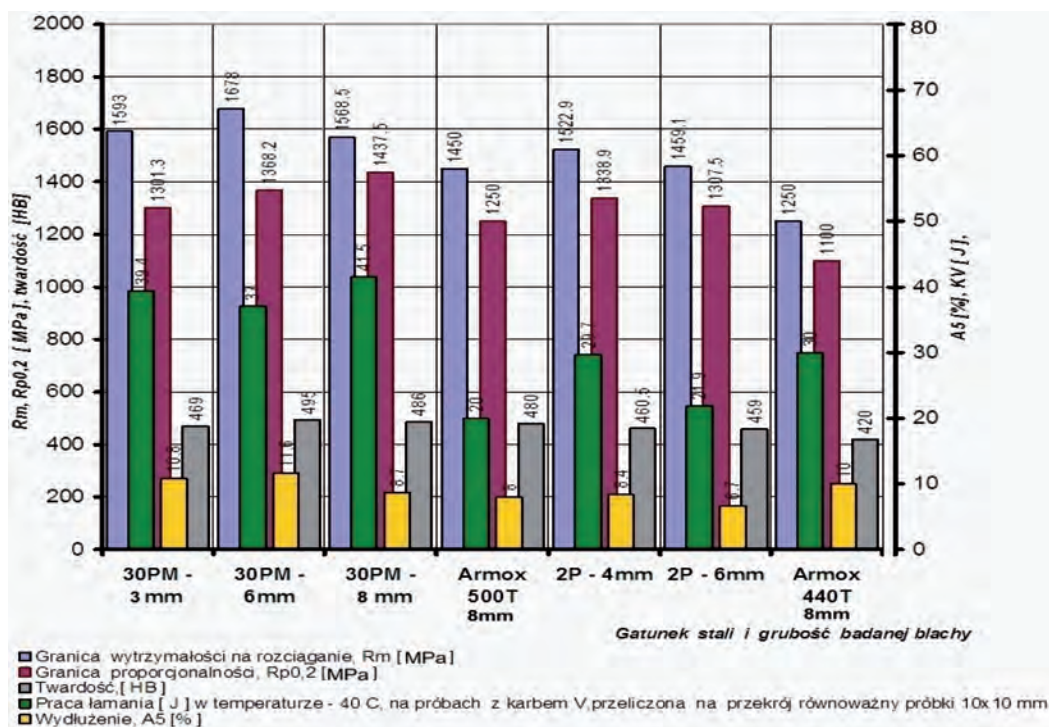
Table 3. Chemical composition of the analyzed armour plates steel grades [2, 4]

Gatunek stali Warunki Techniczne		Skład chemiczny [%]											
		C max	Mn max	Si max	P max	S max	Ni max	Cr max	Mo max	B max	Cu max	V max	Ti max
wg MIL-A46100E(MR)		0,32	nie-limit.	nie-limit.	0,02	0,01	nie-limit.	nie-limit.	nie-limit.	0,003	0,25	nie-limit.	0,1
MILAR 480HCM	WT/01/04/2007	0,30	1,00	0,35	0,015	0,005	1,00	0,70	0,40	0,003	0,25	0,1	0,01
30 PM	WT/01/WB/2005	0,30	1,20	0,50	0,015	0,01	1,10	0,90	0,25	0,003	0,20	0,1	0,05



Rys. 2. Mikrostruktura stali 30 PM po chłodzeniu ciągłym z temperatury 860°C z różną szybkością: maksymalną (martenzyt), b) 1°C/s (martenzyt+bainit), c) 10°C/min (bainit), d) 1°C/min (bainit+ferryt+perlit), e) 0,5°C/min (perlit+ferryt) [3]

Fig. 2. Microstructure of 30 PM steel following continuous cooling from the temperature of 860°C at various cooling rate: maximum (martensite), b) 1°C/s (martensite+bainite), c) 10°C/min (bainite), d) 1°C/min (bainite+ferrite+pearlite), e) 0.5°C/min (pearlite+ferrite) [3]



Rys. 3. Porównanie własności mechanicznych wybranych blach pancernych [2,6]. Wartości dla stali Armox 440 T i 500 T są określone w ofertach jako minimalne, zaś wartości dla stali 30 PM i 2P są wartościami zmierzonymi

Fig. 3. Comparison of the mechanical properties of selected armour plates [2,6]. Values for Armox 440 T steel and 500 T steel are determined in the offers as the minimum, while values for 30 PM and 2P steel constitute the measured figures

krostruktury i pozwoliły określić zakres otrzymywania struktury martenzytycznej. Wykres przemian fazowych stali 30 PM podczas chłodzenia ciągłego z temperatury 860°C przedstawiono na rys. 1. Natomiast mikrostruktury występujące w stali po chłodzeniu z różną szybkością ilustruje rys. 2.

Mikrostruktura zmienia się wraz ze zmniejszaniem szybkości chłodzenia, od martenzytycznej (rys. 2a) poprzez martenzytyczno-bainityczną (rys. 2b), bainityczną (rys. 2c), bainityczno-ferrytyczno-perlityczną (rys. 2d) do perlityczno-ferrytycznej (rys. 2e). Badania prowadzono dla stopu o składzie chemicznym podanym w tablicy 3. Badania dylatometryczne wykonywano na próbkach cylindrycznych o wymiarach: średnica zewnętrzna 4 mm, średnica wewnętrzna 2 mm, długość 10,0 mm. Parametry austenitowania były następujące: czas nagrzewania 180 s, temperatura 860°C, czas wygrzewania 1200 s.

Badania właściwości mechanicznych blach o grubości 3 i 6 mm wykonane na próbkach wzdłużnych i poprzecznych odpuszczonych w zakresie temperatury 180–430°C wykazały, że wraz ze wzrostem temperatury odpuszczania powyżej 180°C następuje wyraźny spadek R_m i $R_{p0.2}$. Wyższe wartości R_m i $R_{p0.2}$ uzyskano dla blach o grubości 8 i 10 mm. Wartość wydłużenia A_5 prawie nie ulegała zmianie przy zmianie temperatury odpuszczania. Wartość przewężenia nieznacznie rosła ze wzrostem temperatury odpuszczania do 280°C, a następnie utrzymywała się w przybliżeniu na stałym poziomie. Właściwości mechaniczne blach uzyskane na próbach pobranych poprzecznie i wzdłużnie do kierunku walcowania nie wykazały większych różnic, co wskazuje na ich małą anizotropię. Udarowość blach badana w temperaturze otoczenia na próbkach odpuszczonych w różnej temperaturze zawarta była w granicach od 40 do 60 J/cm². Najwyższe wartości uzyskano

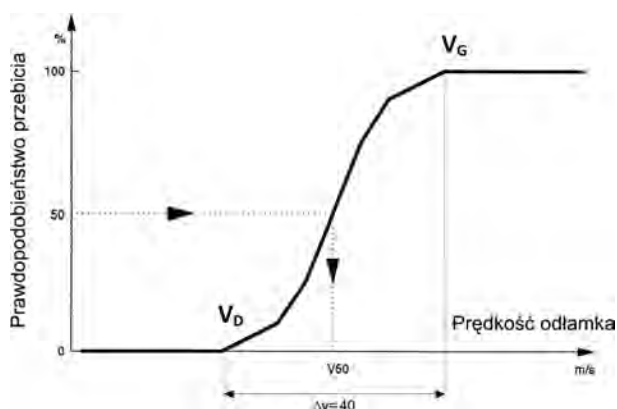
na próbkach odpuszczonych w temperaturze 190°C. Próby udarowości w temperaturze ujemnej wykonano na próbkach odpuszczonych w temperaturze 190°C. Wyniki zawierały się w granicach od 40 do 58 J/cm². Nie stwierdzono istotnych różnic między wynikami udarowości z blach o grubości 6 i 10 mm. Na rys. 3 zestawiono wyniki otrzymanych właściwości mechanicznych dla blach ze stali 30PM w odniesieniu do właściwości określonych jako ogólne dla stali 2P i Armox [www.armoxplate.com].

3. BADANIA WŁAŚCIWOŚCI BALISTYCZNYCH

Celem badań balistycznych było potwierdzenie prawidłowości dobranych parametrów obróbki cieplnej blach, w wyniku których wytworzona postać struktury martenzytycznej charakteryzuje się korzystnymi (wysokimi) właściwościami ochronnymi. Do oceny tych właściwości zastosowano metodę wyznaczania granicy balistycznej V_{50} . Badania przeprowadzono zgodnie z MIL-STD-662F :1997 „Blachy pancerne – wyznaczanie V_{50} ”, w którym to zakresie wykorzystano postanowienia dokumentu standaryzacyjnego NATO Stanag 2920 „Balistyczna metoda badań pancerzy indywidualnych”.

Granice balistyczną V_{50} wyznacza się jako średnią arytmetyczną z trzech najwyższych wartości prędkości uderzenia powodujących przebicie oraz trzech najniższych wartości prędkości uderzenia powodujących całkowite przebicie, przy spełnieniu wymagania, że różnica między tymi wartościami nie przekracza 40 m/s. Jeżeli wartość różnicy prędkości przekracza 40 m/s, badanie należy kontynuować aż do uzyskania pięciu najwyższych i pięciu najniższych wartości prędkości

kości uderzenia, o różnicy nie przekraczającej 50 m/s. W przypadku gdy jest to nieosiągalne (różnica jest większa), należy kontynuować badanie aż do uzyskania siedmiu najwyższych i siedmiu najniższych wartości prędkości uderzenia o różnicy nie przekraczającej 60 m/s. Jeżeli najwyższa prędkość powodująca częściowe przebicie przewyższa najniższą prędkość powodującą całkowite przebicie o więcej niż 60 m/s, badań nie kontynuuje się dla tej partii próbek. Na rys. 4 przedstawiono ilustrację graficzną metody wyznaczania granicy balistycznej V_{50} .

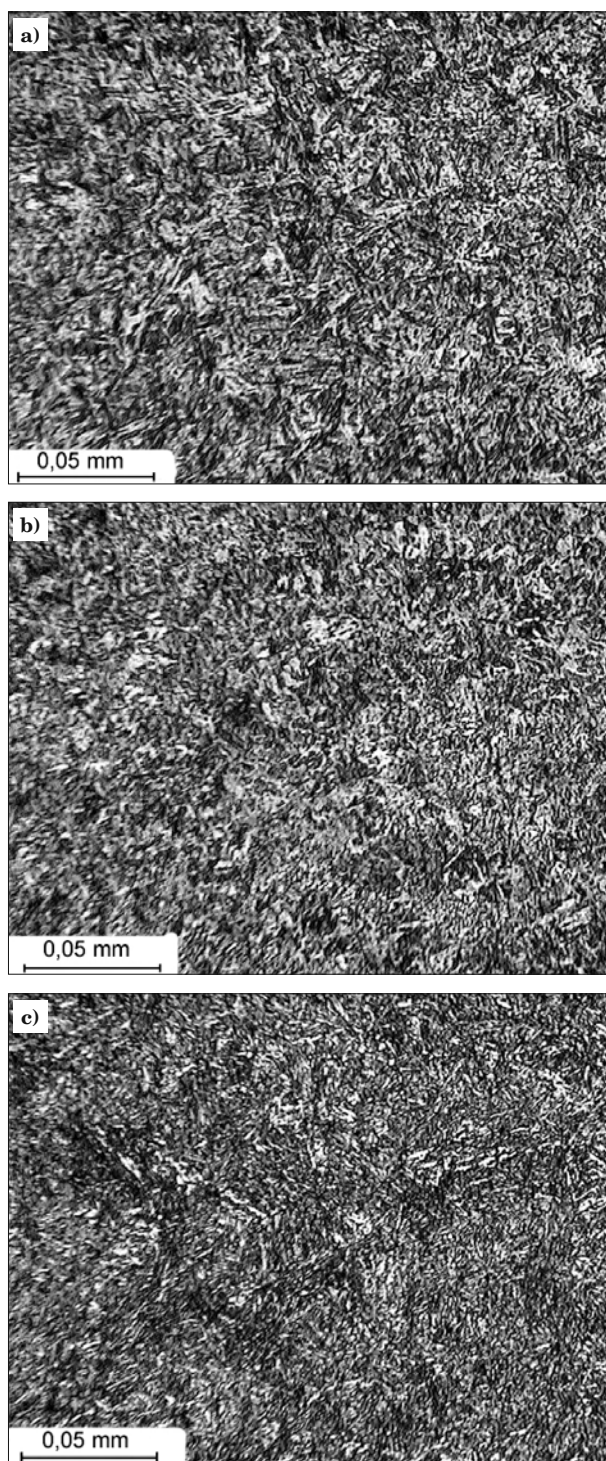


Rys. 4. Metoda wyznaczania granicy balistycznej V_{50} wg Stanag 2920; Δv – przedział zmian prędkości uderzenia [m/s], V_D – wartość prędkości, przy której nie zachodzi przebicie próbki [m/s], V_G – wartość prędkości, przy której zachodzi przebicie próbki [m/s]

Fig. 4. Method of determining the ballistic limit V_{50} according to Stanag 2920; Δv – range of variations in the velocity [m/s], V_D – velocity at which the sample is not perforated [m/s], V_G – velocity at which the sample is perforated [m/s]

Przedmiotem badań balistycznych były próbki wycięte z arkuszy walcowanych i ulepszanych cieplnie stalowych blach pancernych gat. 30 PM o wymiarach 3×500×500 mm, 6×500×500 mm, 8×500×500 mm. Ulepszanie cieplne prowadzono z odpuszczaniem w zakresie temperatury 180–190°C. W tablicy 4 zestawiono wartości właściwości mechanicznych badanych próbek, natomiast mikrostrukturę ilustruje rys. 5.

Badania balistyczne wykonano w Akredytowanym Laboratorium Inżynierii Materiałowej WITPiS (nr certyfikatu PCA AB-083), zgodnie z Procedurą badawczą PB 11/LIM, wydanie 2 z dnia 04.09.2006 r. „Badanie odporności balistycznej materiałów na osłony pancerne”. Ostrzał prowadzono ogniem pojedynczym amunicją naważaną w celu uzyskania określonej prędkości uderzenia pocisku. Ostrzał próbek blach pancernych o grubości 6 mm i 8 mm wykonano amunicją przeciwpancerną z rdzeniem stalowym twardym (63–65 HRC) kal. 7,62×51 mm AP P-80 (kąt ostrzału 0°NATO), na-



Rys 5. Mikrostruktura próbek do badań balistycznych blach 30PM o grubości: a) 3 mm; b) 6 mm; c) 8 mm [5]

Fig. 5. Microstructure of 30PM plate samples subject to ballistic tests, thickness: a) 3 mm; b) 6 mm; c) 8 mm [5]

Tablica 4. Zestawienie wartości własności mechanicznych badanych blach [5, 6]

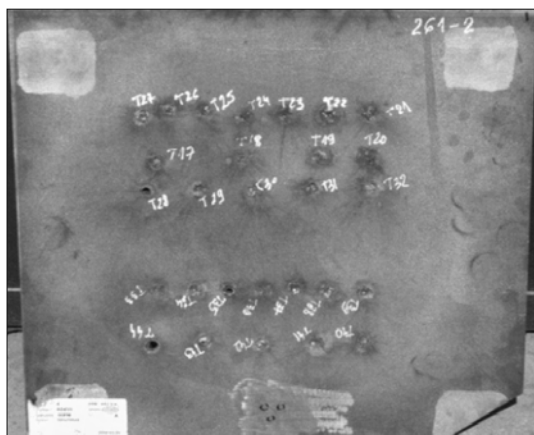
Table 4. Listing of the values of mechanical properties of the examined plates [5, 6]

Gatunek stali	Grubość blachy [mm]	$Rp_{0,2}$ [MPa]	Rm [MPa]	A_5 [%]	Udarność KCV -40°C	HBW
30 PM	3	1709±4	1786±16	11,1±0,8	–	524±10
30 PM	6	1578±80	1710±91	11,2±0,1	24±0,8	521±12
30 PM	8	1666±34	1710±26	9,2±0,5	27±0,6	530±19

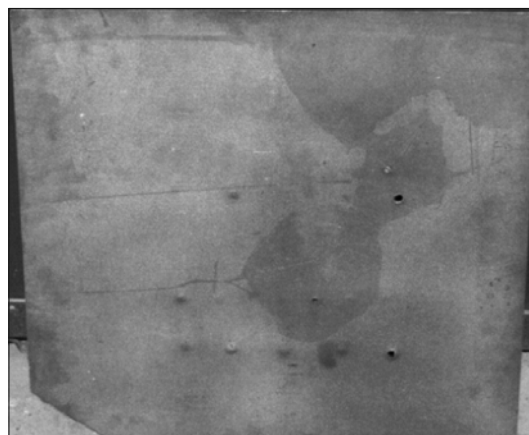
tomiast blach o grubości 3 mm amunicją z rdzeniem stalowym miękkim (220–250 HB) kal. 7,62×39 mm PS (kąt ostrzału 0°NATO).

Wyniki badań balistycznych w postaci wartości parametru V_{50} przedstawia tablica 5. Obserwacje miejsc uderzenia pocisków i przestrzelin (rys. 6–8) wykazały zachowanie plastyczności przez stal gat. 30 PM. Szczególnie

widoczne jest to dla blachy o grubości 3 mm (rys. 8). Również tę samą własność wykazała stal o grubości 8 mm. Potwierdzeniem dobrych właściwości plastycznych blach ze stali 30PM są wyniki ostrzału blach o grubości 4 mm pociskiem o masie 9,6 g, zrealizowanego z różną prędkością uderzenia pocisku. Wyniki te w formie poglądowej przedstawiono na rys. 9.



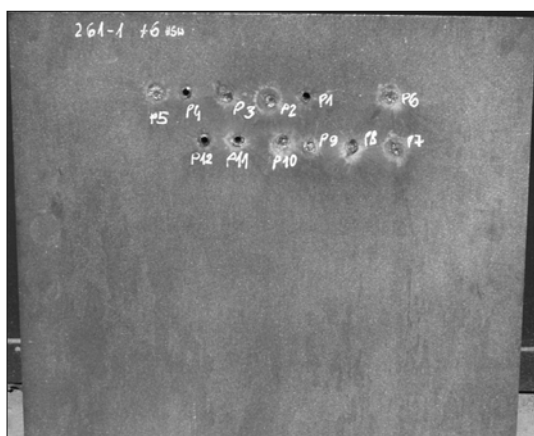
Przód próbki



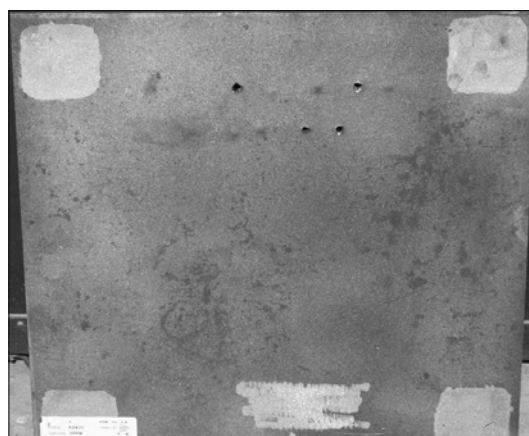
Tył próbki

Rys. 6. Widok próbek z blachy o grubości 8 mm ze stali 30PM po badaniach balistycznych [5,7]

Fig. 6. View of 8 mm thick 30 PM steel plate sample following ballistic tests [5,7]



Przód próbki



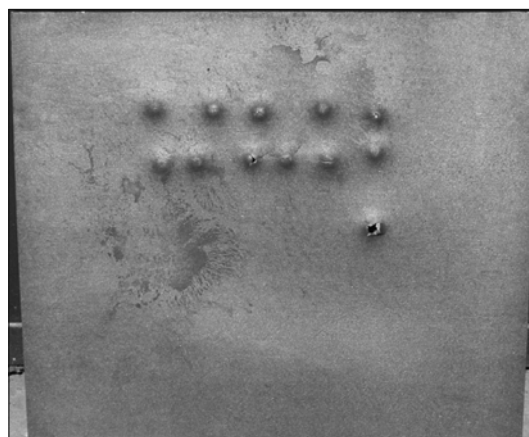
Tył próbki

Rys. 7. Widok próbki z blachy o grubości 6 mm ze stali 30 PM po badaniach balistycznych [5, 7]

Fig. 7. View of 6 mm thick 30 PM steel plate sample following ballistic tests [5, 7]



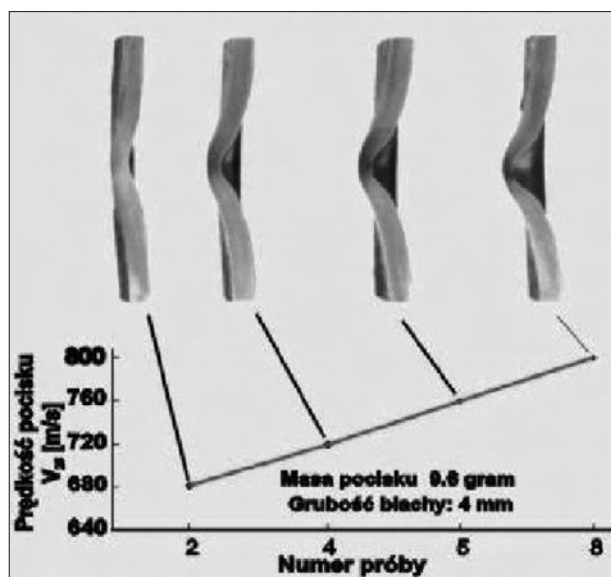
Przód próbki



Tył próbki

Rys. 8. Widok próbki z blachy o grubości 3 mm ze stali 30PM po badaniach balistycznych [5, 7]

Fig. 8. View of 3 mm 30 PM steel plate sample following ballistic tests [5, 7]



Rys. 9. Odształcenie blachy ze stali 30PM w miejscu uderzenia pocisku [6]

Fig. 9. Deformation of 30PM steel plate in the missile hit point [6]

Tablica 5. Granica balistyczna V₅₀ blach ze stali 30PM [7]

Table 5. Ballistic limit V₅₀ of 30PM steel plates [7]

Granica balistyczna V ₅₀ blach ze stali 30 PM [m/s]		
Amunicja 7,62×39 PS	Amunicja 7,62×51 mm AP P-80	
Grubość 3mm	Grubość 6 mm	Grubość 8mm
694	666	922

4. PODSUMOWANIE

Z przedstawionych rezultatów badań wynika, że dla wyznaczonej i przyjętej wartości temperatury odpuszczania 190°C, ukształtowana mikrostruktura martenzytyczna zapewniła korzystne właściwości mechaniczne. Uzyskano wymaganą wysoką twardość (521–540 HB), przy stosunkowo wysokich właściwościach wytrzymałościowych ($R_m = 1710\text{--}1786$ MPa). Zwraca uwagę zachowanie względnie dobrej plastyczności stali. W zależności od grubości blach, wartości R_m kształtowały się na poziomie 1709 MPa dla blachy o grubości 3 mm i 1578–1666 MPa dla blach o grubości 6 i 8 mm. Te korzystne właściwości potwierdziły wyniki badań balistycznych i przeprowadzone obserwacje miejsc uderzeń pocisków i przestrzelin. Wyznaczone wartości granicy balistycznej V₅₀ potwierdzają wysoką skuteczność ochronną blach pancernych ze stali gatunku 30 PM.

LITERATURA

1. Szczęch S.: „Badania metaloznawcze, wytrzymałościowe i próby balistyczne blach pancernych o grubości 2–20 mm” – Sprawozdanie z pracy badawczej Nr PC-4753/HPT/01/2000 Stalowa Wola, lipiec 2000
2. Starczewski L., Szczęch S.: „Opracowanie i wdrożenie do produkcji nowego gatunku stali na osłony balistyczne pojazdów wojskowych i sprzętu uzbrojenia” – Raport końcowy z realizacji projektu celowego nr 4753 Stalowa Wola-Sulejówkę, luty 2001
3. Stępień J.: „Wykresy CTPc stali w gat. 20 PM i 30 PM”. Opracowanie IMŻ do projektu celowego nr 4753. Gliwice 2000
4. Starczewski L., Garbarz B., Stępień J., Ujma J., Ujma K., Cierniak H.: „Właściwości mechaniczne i odporność balistyczna blach pancernych klasy HCM 480 MILAR produkcji krajowej”.
5. Monografia WAT Scientific aspects of armament and safety technology, Warszawa 2008
5. Tudyka D., Starczewski L., Szczęch S.: „Wprowadzenie do produkcji KTO Rosomak kadłuba z elementów wykonanych ze stali pancernych w gat. 30PM i PM 450 produkcji HSW-HSJ S.A. – Raport końcowy z realizacji projektu celowego nr 148515/C-T-00/2008 Siemianowice Śląskie – Stalowa Wola – Sulejówkę, sierpień 2009
6. Badania zakładowe HSW-HSJ S.A. 2008-2009
7. Starczewski L.: „Porównawcze badania ostrzałem prototypowych blach w gat. 30 PM i PM 450 z blachami Armox 500T i 440T oraz wyznaczenie ich granicy balistycznej V₅₀ – Sprawozdanie WITPiS Nr 27/ZE/2009 Sulejówkę, kwiecień 2009

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Wojciech Przetakiewicz