

TECHNIKI BADANIA WŁAŚCIWOŚCI STALI

KOWALSKI Dariusz¹

Politechnika Gdańska, Gdańsk, Polska

XIV Konferencja Naukowo-Techniczna. Warsztaty Pracy Rzeczoznawcy Budowlanego Kielce – Cedzyna, 11-13 maja 2016, p. 381-389

STRESZCZENIE

Eksploatacja istniejących budowlanych konstrukcji metalowych często związana jest z zagadnieniem koniecznej szczegółowej identyfikacji rodzaju materiału stalowego pod kątem jego cech wytrzymałościowych jak i dotyczących składu chemicznego. Dostępne standardowe metody laboratoryjne często wymagają pobrania z konstrukcji próbek materiału do badań, co nie zawsze jest możliwe. Zaprezentowano alternatywne metody do oceny wymienionych cech materiałowych w oparciu o zastosowanie badań nieniszczących możliwych do wykonania bezpośrednio na każdy obiekcie.

SŁOWA KLUCZOWE: konstrukcje stalowe, identyfikacja materiału, identyfikacja gatunku stali, twardości, diagnostyka konstrukcji, parametry wytrzymałościowe, badania nieniszczące.

1. WSTĘP

Szeroko rozumiane badania i diagnostyka elementów metalowych występują na każdym etapie realizacji procesu wznoszenia obiektów budowlanych zawierających w swej strukturze elementy metalowe. Przystępując do realizacji określonego projektu wykonawca powinien otrzymać od projektanta wytyczne odnośnie rodzaju badań, kontroli i sprawdzeń jakie powinny być wykonane w toku prac prefabrykacyjnych jak i montażowych, związanych z realizacją niezawodnych i bezpiecznych konstrukcji nośnych. Informacje takie zawarte są w normach przedmiotowych określających warunki wykonania i odbioru konstrukcji metalowych, np. w dotychczasowej normie PN-B-06200 [1], dotyczącej konstrukcji projektowanych wg normy PN-B-03200 [2] lub aktualne obowiązującym zestawie norm serii PN-EN 1090 [3] związanych z normami projektowania serii PN-EN 1993 [4] (EC3), składającymi się z wielu części. Normy te, określają jedynie podstawowy zakres badań i sprawdzeń, jaki powinny przejść konstrukcje przed ich oddaniem do eksploatacji, lecz jako dokumenty o wysokim poziomie ogólności, nie mogą odpowiedzieć na wszystkie potrzeby związane z realizacją konkretnych konstrukcji. Dokumentem precyzującym specyficzne wymagania, często zaostrzającym wymagania określone we wcześniej wspomnianych normach [1], [3], są wytyczne określone przez projektantów w projektach zarówno budowlanych [5], jak i wykonawczych lub w specyfikacjach technicznych wykonania i odbioru robót budowlanych [6]. Wymienione opracowania projektowe, dedykowane konkretnej budowie, powinny w sposób szczegółowy określać wymagania techniczne dotyczące konstrukcji [7]–[11], tj. zastosowanych materiałów, procesów technologicznych i ich kontroli oraz wskazywać sposób ich przeprowadzenia i określać wymagania jakościowe. Okres realizacji inwestycji jest czasem, kiedy wiele badań kontrolnych można przeprowadzić w bardzo dobrych warunkach warsztatowych czy też laboratoryjnych, a jedynie część z nich realizowana jest podczas lub po zakończeniu prac budowlanych na obiekcie. W tym czasie można wykonać nie tylko badania nieniszczące, np.: badania wizualne (VT), magnetyczne (MT), penetracyjne (PT), radiograficzne (RT), czy też ultradźwiękowe (UT), ale łatwo można też dokonać prób i sprawdzeń w ramach badań niszczących, np.: badania wytrzymałościowe stali w próbie jednoosiowego rozciągania stali, próby łamania, próby spawalnicze w ramach dopuszczenia określonej technologii spawania. Nie należy jednak zapominać, że w czasie eksploatacji często dochodzi do sytuacji kiedy trzeba, bez możliwości skorzystania z dokumentacji projektowej obiektu, czy też dokumentacji powykonawczej (z uwagi na ich brak), określić parametry zastosowanego materiału stalowego, czy też określić jego grubość, aktualny stan rozwoju korozji, czy też rodzaj powłok antykorozyjnych i ich grubość. W artykule przedstawione zostaną techniki pozwalające na rozwiązanie wybranych problemów na podstawie badań z wykorzystaniem specjalistycznego sprzętu badawczego – pomiarowego służącego do identyfikacji gatunku materiału.

¹ dr inż., Dariusz Kowalski, kowdar@pg.gda.pl – Politechnika Gdańska, Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska

2. BADANIA IDENTYFIKACYJNE W ZAKRESIE SKŁADU CHEMICZNEGO

W warunkach realizacji inwestycji z wykorzystaniem materiałów stalowych podstawowym źródłem informacji o rodzaju materiału są świadectwa odbiorowe typu 3.1, wydawane przez wytwórców tych wyrobów zgodnie z normą PN-EN 10204 [12], które zawierają informacje dotyczące wyrobu stalowego (1) takie jak: gatunek stali (2), norma materiału wyrobu (3), właściwości mechaniczne (4), skład chemiczny (5), (rys. 1).

Hot rolled steel plates in the quality S355J2+N acc to EN 10025-2.

EN ISO 9001 : TÜV NORD: 04100930144 EN ISO 14001: TÜV NORD: 04104030144		maria.sarna@vspol.com.pl	
B01/ Výrobek, Product, Erzeugnis, Produkt, B08/ Počet ks, No. of pieces, Stückzahl B09- B11/ Rozměry, Dimensions, Maße, B12/ Teor. hm., Th. mass, Th. Masse, Masse th.		B02/ Označení oceli, Steel designation, Stahlbezeichnung, Désignation de l'acier	
1 40-2000-6000 mm 15 072 kg 4 plates		B04/ Stav výrobku při dodání, Product delivery condition, Lieferzustand des Erzeugnisses, Etat de livraison B05/ Referenční zprac., Reference treatment of symplex, Referenzbehandlung, Traitement de référence des échantillons 3 S355J2+N S355J2+N	
B03/ Dodací podmínky, Terms of Delivery, Lieferbedingungen, Conditions de livraison		3 EN 10025-2/2005 EN 10029 A/N EN 10163-2.A/1	
4		Zkouška řezem v úhlu (P), Impact test (P), Kerbschlagversuch (P), Essai de résilience (P)	
C70		C01 C02 C03 [°C] C10 C11 Type C13 Type C11 C12 C13 [MPa] [%]	
40397 Y 4 200125 A T 20 P ReH A5 371 542 30.7 L -20 KV 133 146 134 138			
C71-C82/ Chemical composition (%)			
5		C Mn Si P S Cu Ni Cr Mo V Ti Al N Nb CEV	
40397		0.192 1.500 0.340 0.014 0.004 0.013 0.046 0.018 0.005 0.002 0.003 0.039 0.010 0.004 0.45	

Rys. 1. Fragment przykładowego świadectwa odbiorowego wyrobu stalowego

W przypadku braku takich dokumentów w nowych realizacjach lub gdy mamy do czynienia ze starymi obiektami (bez zachowanej dokumentacji) poddawanych ocenie bezpieczeństwa eksploatacji, modernizacji lub przebudowie często zachodzi potrzeba określenia rodzaju materiału zastosowanego w obiekcie. Badanie takie może być konieczne w ramach kontroli zastosowanych do wykonania konstrukcji wyrobów stalowych.

W warunkach opracowywania opinii dla istniejących konstrukcji stalowych bardzo często koniecznym zadaniem jest określenie rodzaju materiału stalowego użytego do jej wykonania. Wiedza ta pozwala w dalszym etapie na dokonanie zarówno ocen w zakresie nośności i bezpieczeństwa eksploatowanej konstrukcji, jak również potrzebna jest ze względów technologicznych – np. przy opracowywaniu technologii prac spawalniczych [13].

W przypadku wielu istniejących konstrukcji budowlanych brak jest możliwości pobrania odpowiednio dużych fragmentów materiału potrzebnych do wykonania z nich próbek badawczych i poddaniu niszczącym badaniom wytrzymałościowym zgodnym z PN-EN ISO 6892-1 [14]. Również istotnym elementem, który należy wziąć pod uwagę, jest liczba próbek materiału, które będą poddane badaniu. Ich liczba powinna zapewniać choćby minimalne standardy wykonania wiarygodnych badań i oceny statystycznej badanej cechy materiałowej.

Alternatywą dla badań niszczących w bardzo wielu przypadkach są badania nieniszczące, które pozwolą na dokonanie określenia rodzaju materiału na podstawie identyfikacji pierwiastków składu chemicznego. Informacje o składzie chemicznym materiału mogą być dostarczone na podstawie trzech różnych metod opartych na zasadach spektrometrii, nauki o powstawaniu i interpretacji widm, uzyskanych w wyniku oddziaływań różnego rodzaju promieniowania na materiał traktowany jako zbiorowisko atomów i cząsteczek. Są to metody: spektrometrii iskrowej, rentgenowskiej i laserowej. Przy pomocy tej techniki pomiarowej można nie tylko wykryć jakie pierwiastki występują w składzie materiału, ale również określić ilościową zawartość, co dokonywane jest na poziomie interpretowania wygenerowanych widm.

2.1. Badania spektrometryczne iskrowe

W badaniu spektrometrycznym iskrowym identyfikację składu chemicznego próbki metalowej wykonuje się metodą spektroskopii emisyjnej. Polega ona na analizie widma emisyjnego poszczególnych pierwiastków występujących w badanym materiale, które wystąpi po wzbudzeniu ich do promieniowania w wyniku oddziaływania na materiał iskrą prądu stałego. Badanie przeprowadzane jest w osłonie gazu szlachetnego – argonu o wysokiej klasie czystości (argon 5.0, o stopniu czystości $\geq 99,999\%$), który eliminuje dostęp szczególnie tlenu do miejsca oddziaływania iskry. Metoda ta pozwala na wyznaczenie procentowej zawartości 17. pierwiastków chemicznych takich jak: węgiel (C), krzem (Si), mangan (Mn), fosfor (P), siarka (S), miedź (Cu), aluminium (Al), chrom (Cr), molibden (Mo), nikiel (Ni), wanad (V), tytan (Ti), niob (Nb), kobalt (Co), wolfram (W), ołów (Pb), oraz żelazo (Fe). Tego typu urządzenia występują w wersjach stacjonarnych – laboratoryjnych, jak również, w wersjach przenośnych (rys. 2), a właściwie mobilnych (sama centralna jednostka komputerowa waży ok. 20 kg, do czego dochodzi jeszcze butla z sprężonym

gazem osłonowym). Jednak pomimo tych ograniczeń wagowych, to właśnie to drugie rozwiązanie pozwala na wykonywanie analizy spektrometrycznej bezpośrednio na obiekcie budowlanym, bez naruszania integralności materiału badanego elementu. Metoda badawcza jest badaniem nieinwazyjnym, nie wpływającym na obecne jak i przyszłe właściwości eksploatacyjne badanego materiału i elementu. Ważnym elementem realizacji tego badania jest odpowiednie przygotowanie powierzchni elementu do badań. Metoda wymaga bezpośredniego dostępu do czystej i stosunkowo gładkiej powierzchni metalu. Z powierzchni przeznaczonych do badania muszą być usunięte wszelkie powłokowe zabezpieczenia antykorozyjne, smary i inne tym podobne zanieczyszczenia. W przypadku elementów o skorodowanej powierzchni, obróbkę szlifierską należy prowadzić aż do całkowitego wyeliminowania ewentualnych wżerów korozyjnych, w których to występują tlenki żelaza. Występowanie żelaza w pierwiastkowej postaci w próbce jest wykrywane, co sprawia że wynik badania pozostałych składników jest niewiarygodny (patrz rys. 4). Do przeprowadzenia badania potrzebna jest powierzchnia o wymiarach minimum 40 x 40 mm (choć czasem udaje się wykonać na mniejszych powierzchniach), o gładkiej sąsiedniej powierzchni (nie powodującej utra-



Rys. 2. Urządzenie do badania metodą spektroskopii emisyjnej

ty przylegania głowicy pomiarowej aparatu do powierzchni). Tej wielkości pole pomiarowe pozwala, w dogodnych warunkach, zapewnić możliwość wykonania trzech do pięciu pomiarów identyfikacyjnych, które są podstawą wykonania oceny statystycznej, na podstawie której dokonywane jest określenie gatunku stali (rys. 3).



Rys. 3. Przykłady miejsc i stanu powierzchni po wykonania badań spektrometrycznych

Oznaczenie według		Metoda odtlania ^b	C [%] max			Si	Mn	P	S	N	Cu	Inne
			dla wyrobu o grubości nominalnej w [mm]			[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
EN 10027-1 i CR 10260	EN 10027-2		≤ 16	>16 ≤40	>40 ^c	max	max	max ^d	max ^{d,e}	max ^f	max ^g	max ^h
S235JR	1.0038	FN	0,17	0,17	0,20	-	1,40	0,035	0,035	0,012	0,55	-
S235J0	1.0114	FN	0,17	0,17	0,17	-	1,40	0,030	0,030	0,012	0,55	-
S235J2	1.0117	FF	0,17	0,17	0,17	-	1,40	0,025	0,025	-	0,55	-
S275JR	1.0044	FN	0,21	0,21	0,22	-	1,50	0,035	0,035	0,012	0,55	-
S275J0	1.0143	FN	0,18	0,18	0,18 ⁱ	-	1,50	0,030	0,030	0,012	0,55	-
S275J2	1.0145	FF	0,18	0,18	0,18 ⁱ	-	1,50	0,025	0,025	-	0,55	-
S355JR	1.0045	FN	0,24	0,24	0,24	0,55	1,60	0,035	0,035	0,012	0,55	-
S355J0	1.0553	FN	0,20 ^j	0,20 ^k	0,22	0,55	1,60	0,030	0,030	0,012	0,55	-
S355J2	1.0577	FF	0,20 ^j	0,20 ^k	0,22	0,55	1,60	0,025	0,025	-	0,55	-
S355K2	1.0596	FF	0,20 ^j	0,20 ^k	0,22	0,55	1,60	0,025	0,025	-	0,55	-
S450J0	1.0590	FF	0,20	0,20 ^k	0,22	0,55	1,70	0,030	0,030	0,025	0,55	^m

- ^a patrz 7.2
^b FN = stal nieuspokojona; FF = stal całkowicie uspokojona (patrz 6.2.2)
^c Dla kształtowników o grubości nominalnej > 100 mm zawartość węgla wg uzgodnienia, Patrz opcja 26.
^d Dla wyrobów długich zawartość P i S może być o 0,005 % wyższa.
^e Po uzgodnieniu, w przypadku wyrobów długich maksymalną zawartość S można zwiększyć o 0,015 % w celu poprawy skrawalności, jeżeli stal poddano obróbce w celu modyfikacji morfologii siarczków i jeżeli skład chemiczny wykazuje min. 0,0020 % Ca. Patrz opcja 27.
^f Podana maksymalna zawartość azotu nie obowiązuje, jeżeli skład chemiczny wykazuje zawartość aluminium całkowitego minimum 0,020 % lub minimum 0,015 % aluminium rozpuszczalnego w kwasach albo wystarczającą zawartość innych pierwiastków wiążących azot. W takich przypadku pierwiastki wiążące azot należy podać w dokumencie kontroli.
^g zawartość Cu powyżej 0,40 % może wywołać kruchość na gorąco podczas kształtowania na gorąco.
^h Jeżeli dodano inne pierwiastki to należy je podać w dokumencie kontroli.
ⁱ Dla grubości nominalnej > 150 mm: C = 0,20 % max.
^j Dla gatunków przydatnych do kształtowania rolkowego na zimno: C = 0,22m % max.
^k Dla grubości nominalnej > 30 mm: C = 0,22 % max.
^l Ma zastosowanie tylko dla wyrobów długich.
^m Stal ta może wykazywać maksymalną zawartość Nb 0,05 %, zawartość V 0,132 % i maksymalną zawartość Ti 0,05 %.

Tabela. 1. Przykładowa tabela normowa składu chemicznego stali wg PN-EN 10025-2:2007-3 [15] dla analizy wytopowej prowadzonej podczas produkcji surówki

Gatunek materiału określany jest na podstawie wartości średniej arytmetycznej wyników uzyskanych z badania i wartości ich odchyłeń standardowych, które program komputerowy wykorzystuje do porównania z bazami gatunków materiału stalowego wg różnych norm hutniczych. Bazy takie powstają na podstawie dostępnych informacji o składzie chemicznym zawartych w normach wyrobów hutniczych określających przedziały w jakich powinny znajdować się poszczególne pierwiastki. (tab. 1).

Zaletą tej metody badawczej jest możliwość określania zawartości podstawowych i ważnych pierwiastków występujących w stalach budowlanych, wymienionych w PN-B-03200 [2] czy PN-EN 1993-1-1 [16], pierwiastków niemetalowych typu: C, S, P mających istotny wpływ na właściwości materiału stalowego. Technika ta może być używana do identyfikacji stali odpornych na korozję określonych w PN-EN 10088-1 [17], zawierających duże ilości takich pierwiastków jak: Cr, Ni, V, czy Mo. Wynik badania otrzymuje się w czasie rzeczywistym, na ekranie urządzenia, jak i w postaci kilku typów raportów możliwych do wydrukowania (rys. 4).

Nr programu : 111		Opis programu : Low alloy steel													Data: 2012-04-12		
Wyniki pomiarów:																	
Nr	C	Si	Mn	P	S	Cu	Al	Cr	Mo	Ni	V	Ti	Nb	Co	W	Pb	Ceq
1	0,072	0,169	0,512	0,011	0,009	0,193	<0,003	0,142	0,019	0,187	<0,003	<0,003	<0,003	0,022	0,008	<0,003	0,22
2	0,086	0,161	0,508	0,011	0,011	0,197	<0,003	0,142	0,019	0,189	<0,003	<0,003	<0,003	0,023	<0,003	<0,003	0,23
3	0,095	0,168	0,517	0,011	0,010	0,201	<0,003	0,144	0,020	0,191	<0,003	<0,003	<0,003	0,023	0,007	<0,003	0,24
4	0,082	0,165	0,511	0,010	0,012	0,198	<0,003	0,142	0,019	0,189	<0,003	<0,003	<0,003	0,020	<0,003	<0,003	0,23
5	0,093	0,165	0,515	0,011	0,010	0,201	<0,003	0,143	0,020	0,192	<0,003	<0,003	<0,003	0,024	<0,003	<0,003	0,24
6	0,095	0,169	0,515	0,014	0,009	0,195	<0,003	0,143	0,019	0,189	<0,003	<0,003	<0,003	0,022	0,004	<0,003	0,24
7	0,096	0,167	0,516	0,011	0,010	0,201	<0,003	0,143	0,019	0,190	<0,003	<0,003	<0,003	0,021	<0,003	<0,003	0,24
8	0,094	0,167	0,509	0,011	0,010	0,198	<0,003	0,142	0,019	0,189	<0,003	<0,003	<0,003	0,020	<0,003	<0,003	0,24
Średnie:																	
C	Si	Mn	P	S	Cu	Al	Cr	Mo	Ni	V	Ti	Nb	Co	W	Pb	Ceq	
0,089	0,166	0,513	0,011	0,010	0,198	<0,003	0,143	0,019	0,189	<0,003	<0,003	<0,003	0,022	<0,003	<0,003	0,23	
Gatunek : 1.0037 S 235 JR																	
Uwagi: twardosc probki 106 HB																	

Rys. 4. Przykład fragmentu raportu z identyfikacji gatunku stali konstrukcyjnej

2.2. Badania spektrometryczne rentgenowskie

Zjawisko absorpcji rentgenowskiej stanowi podstawę metody spektroskopii atomowej pozwalającej na rejestrowanie i analizę efektów oddziaływania promieniowania rentgenowskiego na materiał. Zastosowane w tej metodzie promieniowanie X pozwala na ilościową oraz jakościową analizę badanej substancji. Służą do tego celu dwie metody związane z rentgenowską analizą fluorescencyjną:

- dyspersji energii EDS (Energy Dispersive Spectrometry), która polega na analizie wartości energetycznych promieniowania rentgenowskiego przy użyciu detektora półprzewodnikowego,
- dyspersji długości fali WDS (Wavelength Dispersive Spectrometry), która wykorzystuje, do analizy powstałego zbioru fal o różnych długościach zależnych od emitujących je pierwiastków, ruchome kryształy analizujące, pozwalające na odseparowania poszczególnych długości fali emitowanego promieniowania, a następnie dokonać ich identyfikacji i pomiaru.

Metoda EDS charakteryzuje się większą szybkością natomiast metoda WDS większą dokładnością wykonania pomiaru. Spektrometry rentgenowskie odznaczają się znacznie większym zakresem możliwości identyfikacji pierwiastków chemicznych - począwszy od manganu Mg (12 pozycja w układzie okresowym pierwiastków), a kończąc na uranie U (92 pozycja). Pod względem użytkowym jest zdecydowanie korzystniejszy z uwagi na jego kompaktowy kształt, poręczny i niewielki ciężar – około 1,5 kg (rys. 5). Urządzenie nie wymaga specjalnego przygotowania powierzchni oprócz oczyszczenia z powłok antykorozyjnych i innych zanieczyszczeń. Wymiary wymaganej powierzchni do badania mogą być zdecydowanie mniejsze, zależnie od parametrów głowicy.

Znacznym ograniczeniem, w kontekście identyfikacji gatunków stali budowlanych, jest brak możliwości identyfikacji zawartości węgla w badanych próbkach. Ten rodzaj urządzeń umożliwia analizowanie szczególnie stali nierdzewnych oraz stali narzędziowych, stali niskostopowych, stopów niklu, stopów kobaltu, stopów miedzi, stopów cynku, stopów metali lekkich – materiałów zdecydowanie mniej wykorzystywanych w budownictwie konstrukcyjnym.



Rys. 5. Przykładowe spektrometry XRF różnych firm

2.3. Badania spektrometryczne laserowe

W ostatnim czasie pojawiła się nowa metoda badań z zakresu spektroskopii emisyjnych, w której czynnikiem wzbudzenia pierwiastków znajdujących się w materiale jest promień lasera impulsowego – metoda LIBS (Laser Induced Breakdown Spectrometry). Cechą tej metody jest bardzo mały czas pomiaru, wynoszący poniżej 1 sekundy, oraz możliwość wykrywania C, S oraz P. Urządzenie pomiarowe jest ręczne, podobne gabarytowo do przedstawionych na rysunku 5. Poziom detekcji pierwiastków w tej metodzie mieści się w zakresie 0,05 - 1%, co w wielu przypadkach eliminuje, na dzień dzisiejszy możliwość jej zastosowania do identyfikacji stalowych materiałów konstrukcyjnych (rys. 4).

3. BADANIA TWARDOŚCI MATERIAŁU

Badanie twardości materiału polega na wciskaniu w jego powierzchnię wgłębnika o różnym kształcie, pod działaniem określonej siły, aż do spowodowania w nim odkształceń trwałych. Twardość jest więc miarą wytrzymałości materiału na odkształcenia trwałe. Twardość materiału stalowego związana jest z naturą wiązań chemicznych i jej wpływem na przemieszczenie struktur dyslokacyjnych w metalach. Podczas odkształcenia plastycznego w próbie twardości istniejące w materiale dyslokacje ulegają poślizgowi, w związku z tym w tej próbie mierzy się opór jaki pokonują przemieszczające się w danym materiale dyslokacje. Pomiar twardości stosuje się często z uwagi na występowanie korelacji między twardością, np.: mierzoną w skali Vickersa (HV) lub Brinella (HB), a granicą plastyczności lub wytrzymałością na rozciąganie metali [18]. Występuje również relacja między twardością a składem fazowym, a także modułem Younga E. Badanie twardości jest stosunkowo szybkie, proste i praktycznie nieniszczące. Obecnie dostępne są przenośne przyrządy pomiarowe pozwalające na określenie twardości bezpośrednio na obiekcie, bez dostarczania próbki materiału do laboratorium (rys. 6). W tego typu przyrządach pomiarowych zasada pomiaru różni się od tych wykorzystywanych w laboratoriach. W urządzeniach laboratoryjnych pomiar odcisku, po oddziaływaniu na powierzchnię materiału określonego wgłębnika, który stanowi podstawę określenia twardości materiału. W urządzeniach przenośnych iglica wgłębnika zakończona jest diamentowym wgłębnikiem Vickersa.

Głowica obciążająca wyposażona jest w krzywkę wibracyjną, która po wywarceniu zadanego obciążenia na powierzchnię materiału wprowadza drgania. Wartość twardości określana jest poprzez analizę tłumienia wibracji drgań ultradźwiękowych i podawana jest w standardowych skalach HV lub HB. Znajomość wartości twardości materiału w powyższych skalach pozwala, na podstawie tablic, określić granicę wytrzymałości materiału f_u (R_m). Jest to podstawa do wnioskowania o parametrach wytrzymałościowych badanej stali (tab. 2) co pozwala na przyporządkowanie badanej materiału stalowego do określonego gatunku. Opisywaną metodę pomiaru charakteryzuje zdecydowanie mniejszy odcisk pozostawiany na powierzchni badanego elementu oraz wyeliminowanie czynności związanych z pomiarem wykonanego odcisku. Sama przenośność i kompaktowy wymiar urządzenia umożliwia wykonywanie badań w różnych, nawet trudno dostępnych miejscach na obiekcie. Ten typ urządzenia również nadaje się do stosowania w przypadku elementów cienkich, o grubości 2 mm, przy pomiarach wykonywanych „z ręki”, a przy zastosowaniu elementów pozycjonujących, nawet od grubości 1 mm. Pomiar w jednym miejscu wykonywany jest w czasie 3-4 sekund. Powierzchnia badanego materiału musi być czysta i gładka, o chropowatości nie większej niż Ra 2,5, co również podlega odpowiedniemu badaniu.



Rys. 6. Przenośny twardościomierz ultradźwiękowy

Przybliżona wytrzymałość na rozciąganie	TWARDOŚĆ		Przybliżona wytrzymałość na rozciąganie	TWARDOŚĆ	
	VICKERS	BRINELL		VICKERS	BRINELL
f_u (R_m) [MPa]	HV 10	HB	f_u (R_m) [MPa]	HV 10	HB
240	75	74	510	160	152
255	80	76	530	165	157
270	85	81	545	170	162
285	90	86	560	175	166
305	95	90	575	180	171
320	100	95	595	185	176
335	105	100	610	190	181
350	110	105	625	195	185
370	115	109	640	200	190
385	120	114	660	205	195
400	125	119	675	210	199
415	130	124	690	215	204
430	135	128	705	220	209
450	140	133	720	225	214
465	145	138	740	230	219
480	150	143	755	235	223
495	155	147	770	240	228

Tabela 2. Fragment tabeli prezentujący korelację pomiędzy twardością a wytrzymałością stali [19]

4. PODSUMOWANIE

Zastosowanie dwóch odmiennych co do zasady pomiaru (analizy spektrometrycznej i badania twardości) metod do określenia rodzaju materiału występującego w analizowanej konstrukcji budowlanej pozwala na jednoznaczne i bezpieczne zidentyfikowanie jego właściwości i gatunku, a tym samym odpowiedzieć na często stawiane pytania

dotyczące nośności konstrukcji o nieudokumentowanych właściwościach. Zaprezentowane techniki pomiarowe cechuje przede wszystkim duża mobilność oraz możliwość wykonania badań bezpośrednio na obiekcie, bez konieczności pozyskiwania materiału do badań laboratoryjnych. Prezentowane badania są całkowicie nieniszczące dla konstrukcji i materiału, a informacja o zbadanych parametrach i wynikających z nich wnioskach jest dostępna właściwie „od ręki”.

W działaniach eksperckich wykonywanych na istniejących konstrukcjach budowlanych, dla których konieczne jest ustalenie cech zastosowanych materiałów, badania takie umożliwiają wyłączenie ryzyka niepewności i możliwości popełnienia błędu przy ocenie rodzaju istniejącego materiału.

Wobec szybkiego postępu technicznego należy spodziewać się, iż zapewne w nieodległej przyszłości, również dwie ostatnie opisane w tym artykule metody spektrometryczne, mobilne i łatwe w użyciu będzie można stosować do identyfikacji składu chemicznego i gatunków budowlanych stali konstrukcyjnych.

BIBLIOGRAPHY

- [1] PN-B-06200:2002 Konstrukcje stalowe budowlane. Warunki wykonania i odbioru. Wymagania podstawowe.
- [2] PN-B-03200:1990 Konstrukcje stalowe. Obliczenia statyczne i projektowanie.
- [3] PN-EN 1090 Wykonanie konstrukcji stalowych i aluminiowych.
- [4] PN-EN 1993 Eurokod 3. Projektowanie konstrukcji stalowych. Seria norm.
- [5] Rozporządzenie Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej z dnia 25 kwietnia 2012r. w sprawie szczegółowego zakresu i formy projektu budowlanego (Dz. U. z 2012 r. poz. 462).
- [6] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 2 września 2004 r. w sprawie szczegółowego zakresu i formy dokumentacji projektowej, specyfikacji technicznych wykonania i odbioru robót budowlanych oraz programu funkcjonalno-użytkowego. (Dz. U. z 2004 r. Nr 202, poz. 2072).
- [7] Urbańska-Galewska E., Kowalski D.: *Wymagania dotyczące przygotowania dokumentacji projektowej oraz wykonania konstrukcji stalowych*. w XXVII Ogólnopolskie Warsztaty Pracy Projektanta Konstrukcji. Nowoczesne Rozwiązania Konstrukcyjno - Materiałowo - Technologiczne. Konstrukcje Metalowe. Katowice - Szczyrk, 7-10 marca 2012, p. 365–406.
- [8] Urbańska-Galewska E., Kowalski D.: *Dokumentacja Projektowa. Wymagania dla konstrukcji stalowych -- część 1*. Builder, nr 7, 2012, p. 62–65.
- [9] Urbańska-Galewska E., Kowalski D.: *Dokumentacja Projektowa. Wymagania dla konstrukcji stalowych -- część 2*. Builder, nr 8, 2012, p. 50–53.
- [10] Urbańska-Galewska E., Kowalski D.: *Zasady wykonania konstrukcji stalowych*. Builder, nr 9, 2012, p. 80–84.
- [11] Urbańska-Galewska E., Kowalski D.: *Dokumentacja projektowa konstrukcji stalowych w budowlanych przedsięwzięciach inwestycyjnych*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2015.
- [12] PN-EN 10204:2006 Wyroby metalowe. Rodzaje dokumentów kontroli.
- [13] Wichtowski B., Hołowaty J.: *Analiza właściwości materiałowych i spawalności stali zlewnej mostów kolejowych*. Inżynieria i Budownictwo, 69, 2013, 5, s. 247–251.
- [14] PN-EN ISO 6892-1:2009 Metale. Próba rozciągania. Cz. 1. Metoda badania w temperaturze pokojowej.
- [15] PN-EN 10025-2:2007 Wyroby walcowane na gorąco ze stali konstrukcyjnych. Część 2: Warunki techniczne dostawy stali konstrukcyjnych niestopowych.
- [16] PN-EN 1993-1-1:2006 Eurokod 3. Projektowanie konstrukcji stalowych. Część 1-1: Reguły ogólne i reguły dla budynków.
- [17] PN-EN 10088-1:2014-12 Stale odporne na korozję. Część 1: Wykaz stali odpornych na korozję.
- [18] Gosowski B. and Organek P.: *Wykorzystanie nieniszczących pomiarów twardości do oceny parametrów wytrzymałościowych stali z początku XX wieku*. Inżynieria i Budownictwo, 72, 2016, 2, s. 74–77.
- [19] <http://www.darmet.com.pl>.

Technology research properties of steel