

# WPŁYW KIERUNKU CIĘCIA ARKUSZA BLACHY SSAB BORON B33 WALCOWANEJ NA GORĄCO NA JEJ WŁAŚCIWOŚCI WYTRZYMAŁOŚCIOWE

Streszczenie

W artykule przedstawiono wyniki badań mechanicznych próbek blachy ze stali SSAB Boron B33 w zależności od miejsca wycięcia. Próbki wycięto wzdłuż kierunku walcowania i pod kątem 90° do kierunku w płaszczyźnie walcowania. Porównano wyniki badań i wskazano na nieznaczną anizotropię właściwości.

**Słowa kluczowe:** stal borowa, walcowanie na gorąco, właściwości wytrzymałościowe

## Wprowadzenie

Trwałość eksploatacyjna elementów technicznych w budowie maszyn jest szczególnie ważna w aspekcie zużycia i niezawodności kompletnych zespołów maszyn i urządzeń. Często elementy te są poddawane w czasie eksploatacji bardzo dużym obciążeniom mechanicznym, procesom zmęczeniowym i zużyciu tribologicznemu [1].

Spośród szerokiej gamy produktów stalowych produkowanych przez SSAB, na szczególną uwagę w rolnictwie zwraca gama stali z dodatkiem boru.

Gatunki stali borowych są dostarczane w stanie po walcowaniu na gorąco w postaci arkuszy ciętych z kręgów oraz blach grubych i przeznaczone do obróbki cieplnej oraz hartowania w procesie tłoczenia.

Właściwości stali borowej sprawiają, że jest ona niezwykle odporna na ścieranie i jednocześnie charakteryzuje się dużą wytrzymałością, co powoduje obniżenie kosztów i wydłużenie okresu eksploatacji konstrukcji.

Niestety, wyroby płaskie i kształtowe ze stali, które są wytwarzane w technologii walcowania wykazują cechy anizotropii właściwości w kierunku wzdłużnym i prostopadłym do powierzchni. Dotyczy to zarówno właściwości plastycznych, jak i wytrzymałościowych. Tego typu cechy materiałów walcowanych mogą wpływać na ciągliwość międzywarstwową i - w konsekwencji - na mikropęknięcia typu lamenarnego.

Projektując elementy z blachy stalowej walcowanej, konstruktorzy powinni mieć na uwadze anizotropię właściwości [2-7].

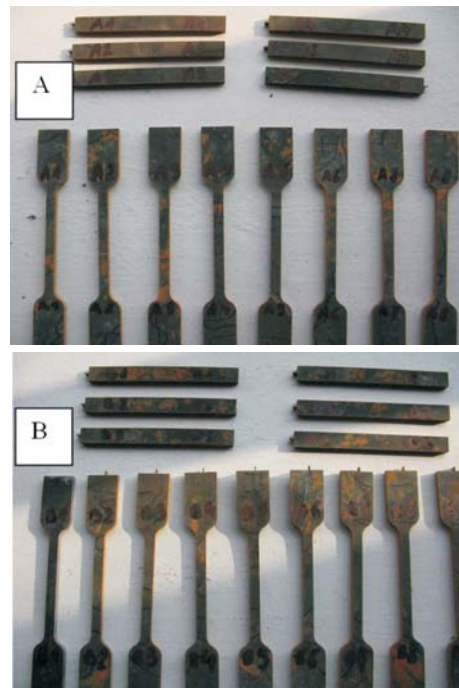
Niniejsza publikacja jest częścią ekspertyzy wykonanej dla jednej z firm branży metalowej. Celem tych badań było sprawdzenie wielkości anizotropii płaskiej dostarczonego fragmentu blachy w zakresie różnic we właściwościach wytrzymałościowych, zależnych od kierunku wycinania z arkusza blachy.

W publikacji przedstawiono wybrane wyniki badań wytrzymałościowych, coraz bardziej popularnej na rynku, stali SSAB Boron B33 walcowanej na gorąco, po hartowaniu.

## Przedmiot badań

Z płaskiego fragmentu blachy SSAB Boron B33 o grubości 4,0 mm wycięto, metodą cięcia wodnego, próbki do badań wytrzymałościowych i udarnościowych (rys. 1), których wymiary przedstawiono na rys. 2 i 3.

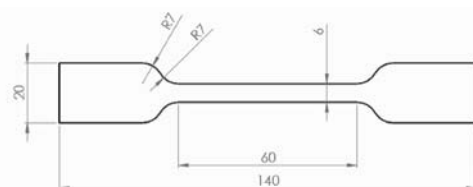
Próbki te wykorzystano także do analizy składu chemicznego stali i badań twardości metodą Rockwella.



Źródło: praca własna / Source: own work

Rys. 1. Próbki wycięte z fragmentu blachy (zgodnie z kierunkiem walcowania - oznaczenie A oraz pod kątem 90° do kierunku walcowania, w płaszczyźnie blachy - oznaczenie B, przeznaczone do próby statycznego rozciągania

Fig. 1. Samples cut from a piece of sheet (in the direction of rolling - mark A and at an angle of 90° to the rolling direction, in sheet plane - mark B, intended for static stretching test



Źródło: praca własna / Source: own work

Rys. 2. Kształt i wymiary próbki do badań wytrzymałościowych o grubości 4 mm

Fig. 2. Shape and dimensions of 4 mm thick sample for strength tests' purpose



Źródło: praca własna / Source: own work

Rys. 3. Kształt i wymiary próbki do badań udarnościowych o grubości 4 mm

Fig. 3 Shape and dimensions of 4 mm thick sample for toughness tests' purpose

### 3. Metodyka badań

Badania próbek z blachy SSAB Boron B33 obejmowały pomiar właściwości wytrzymałościowych ( $F_m$ ,  $R_m$ ,  $R_e$ ), udarności Charpy'ego i twardości materiału metodą Rockwella (skala HRC). Sprawdzone także skład chemiczny dostarczonego do badań fragmentu blachy.

#### Analiza składu chemicznego stali

Badanie składu chemicznego (udziału procentowego poszczególnych pierwiastków w stali) wykonano z użyciem analizatora składu chemicznego firmy Solaris CCD PLUS w celu potwierdzenia zgodności stali z danymi zleceniodawcy. Widok urządzenia przestawiono na rys. 4.



Źródło: praca własna / Source: own work

Rys. 4. Analizator składu chemicznego stali SOLARIS CCD Plus

Fig. 4. SOLARIS CCD Plus steel chemical content analyzer

#### Badania wytrzymałościowe

Porównawcze badania wybranych właściwości wytrzymałościowych przeprowadzono przy użyciu maszyny wytrzymałościowej HUNG -TA typu HT-2402 (rys. 5). Urządzenie umożliwia wykonanie badania statycznego rozciągania przygotowanych próbek z siłą do 45kN. Sposób montażu i zrywania próbek pokazano na rys. 6.

Podczas badań wytrzymałościowych wszystkich próbek stalowych przyjęto jednakowe następujące parametry procesu:

- prędkość rozciągania:  $10 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ ,
- siła naciągu wstępnego: 200-300 N (wynikająca ze sposobu zamocowania próbek w uchwytach specjalnych maszyny).

Podczas próby statycznego rozciągania rejestrowano wartości naprężenia w funkcji odkształcenia, wartości siły w czasie oraz wartości siły w funkcji wydłużenia dla wszystkich badanych próbek [8].



Źródło: praca własna / Source: own work

Rys. 5. Widok maszyny wytrzymałościowej HT-2402

Fig. 5. View of HT-2402 strength machine



Źródło: praca własna / Source: own work

Rys. 6. Próba statycznego rozciągania próbek stalowych

Fig. 6. Attempt of static stretching of steel samples

#### Badania udarności metodą Charpy'ego i twardości metodą Rockwella

Badania udarności niestandardowych próbek bez karbu o wymiarach  $100 \times 10 \times 4$  przeprowadzono przy użyciu młota udarnościowego Charpy'ego (rys. 7A) o następujących parametrach:

- energia uderzenia - 150 J,
- masa tarana młota -  $9,37 \pm 0,045 \text{ kg}$ ,
- maksymalny kąt pomiaru:  $160^\circ$ ,
- prędkość tarana -  $5,6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ .

Badanie twardości wykonano z użyciem twardościomierza Rockwella firmy Zwick ZHR AK, w skali HRC. Serię pomiarów twardości wykonano wgłębnikiem diamentowym, z obciążeniem 150 kg. Widok urządzenia przestawiono na rys. 7B [9, 10].



Źródło: praca własna / Source: own work

Rys. 7. Widok młota Charpy'ego do badań odporności na uderzenie materiałów (A) oraz twardościomierza Zwick ZHR/Ak (B)

Fig. 7. View of Charpy hammer for materials impact resistance testing (A) and Zwick ZHR / Ak hardness tester (B)

## Wyniki badań

### Wyniki pomiarów składu chemicznego

Wyniki analizy składu chemicznego badanego arkusza blachy przedstawiono w tab. 1.

Tab. 1. Skład chemiczny badanych blach według pomiarów i katalogu

Table 1. Chemical composition of tested sheets according to measurements and catalogue

| Badany pierwiastek | Gatunek stali                    |                                 |
|--------------------|----------------------------------|---------------------------------|
|                    | SSAB Boron B 33 z arkusza blachy | SSAB Boron B 33 dane katalogowe |
|                    | Zawartość pierwiastka w [%] *    |                                 |
| C                  | 0,308                            | 0,31-0,36                       |
| Si                 | 0,258                            | 0,10-0,30                       |
| Mn                 | 1,314                            | 1,20-1,40                       |
| P                  | 0,012                            | 0,020                           |
| S                  | 0,007                            | 0,010                           |
| Cr                 | 0,297                            | 0,10-0,40                       |
| Mo                 | 0,017                            | -                               |
| Ni                 | 0,037                            | -                               |
| Nb                 | 0,027                            | -                               |
| Al                 | 0,032                            | -                               |
| Cu                 | 0,009                            | -                               |
| Co                 | 0,009                            | -                               |
| B                  | 0,003                            | 0,008-0,0050                    |
| Ti                 | 0,040                            | -                               |
| V                  | 0,005                            | -                               |
| Ca                 | 0,003                            | -                               |
| Pb                 | 0,005                            | -                               |
| Zr                 | 0,002                            | -                               |

Źródło: praca własna / Source: own work

\*wartości średnie z 7 pomiarów/ \* average values from seven measurements

### Wyniki badań wytrzymałościowych

Wyniki badań wytrzymałościowych zestawiono w tab. 2, obejmującej parametry badane w statycznej próbie rozciągania: siłę maksymalną ( $F_m$ ), wytrzymałość na rozciąganie ( $R_m$ ), granicę plastyczności ( $R_e$ ) oraz wydłużenie względne po zerwaniu ( $\epsilon$ ).

Tab. 2. Wyniki badań wytrzymałościowych próbek blachy SSAB Boron B33 w zależności od kierunku wycinania próbek

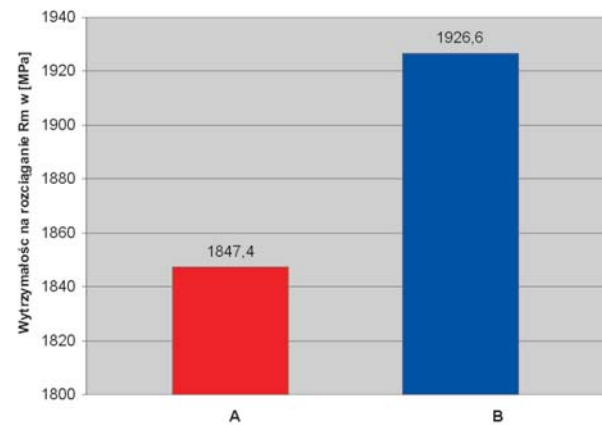
Table 2. SSAB Boron B33 sheet strength test results according to sample cutting direction

| Nazwa próbki                             | $F_m$<br>(siła maks.)<br>[N] | Wytrzymałość na rozciąganie $R_m$<br>[MPa] | Granica plastyczności $R_e$<br>[MPa] | Wydłużenie względne po zerwaniu $\epsilon$<br>[%] |
|--|------------------------------|--|--------------------------------------|---|
| A – zgodnie z kierunkiem walcowania      | 44339*                       | 1847,4*                                    | 1627,3*                              | 11,8*   |
| B – pod kątem 90° do kierunku walcowania | 46240*                       | 1926,6*                                    | 1720,4*                              | 11,6*   |

Źródło: praca własna / Source: own work

\*wartości średnie z 5 pomiarów/ \* average values from five measurements

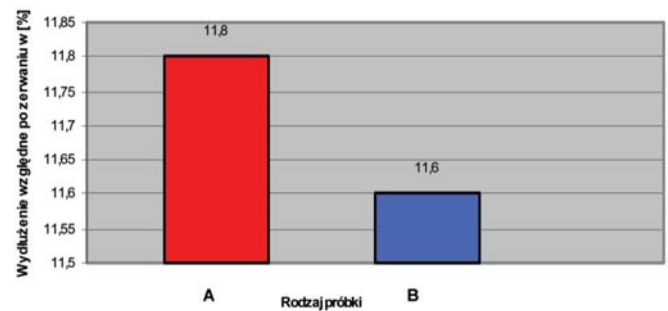
Na rys. 8, w formie wykresu słupkowego, pokazano porównanie uzyskanych wartości wytrzymałości  $R_m$ , próbek wyciętych z blachy wzdłuż kierunku walcowania (A) i pod kątem 90° do niego (B) a na rys. 9. wartości wydłużenia względnego próbek po zerwaniu  $\epsilon$ .



Źródło: praca własna / Source: own work

Rys. 8. Porównanie wytrzymałości  $R_m$  próbek wyciętych wzdłuż (A) i pod kątem 90° do kierunku walcowania (B) blachy SSAB Boron B33

Fig. 8. Comparison of  $R_m$  strengths of samples cut along (A) and at an angle of 90° to the rolling direction (B) of the SSAB Boron B33 sheet



Źródło: praca własna / Source: own work

Rys. 9. Porównanie wydłużenia względnego  $\epsilon$  próbek wyciętych wzdłuż (A) i (B) pod kątem 90° do kierunku walcowania blachy SSAB Boron B33

Fig. 9. Comparison of the relative elongation  $\epsilon$  of the samples cut along (A) and (B) at an angle of 90° to the rolling direction of the SSAB Boron B33 sheet

### Wyniki badań udarności i twardości

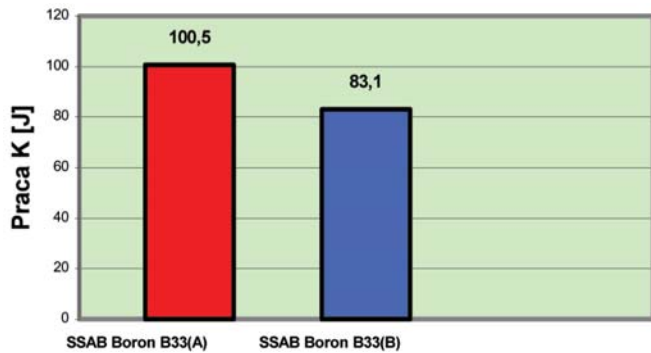
Wartości pomiarów pracy potrzebnej na złamanie próbki K [J] dla poszczególnych próbek blachy B33 o grubości 4,0 mm ujęto w tab. 3 oraz na rys. 10. Należy podkreślić, że badanie porównawcze wykonano na nieznormalizowanych próbkach, bez karbu, z użyciem wahadła temperaturze maksymalnej energii uderzenia 150 J, w temperaturze +22°C.

Tab. 3. Wyniki badań udarności Charpy'ego próbek

Table 3. Charpy impact test results

| Lp. | Material       | Praca K [J] | Uwagi  |
|-----|----------------|-------------|--|
| 1.  | SSAB Boron B33 | 100,5       | Próbki wycięte zgodnie z kierunkiem walcowania (A) Średnia z 6 prób      |
| 2.  | SSAB Boron B33 | 83,1        | Próbki wycięte pod kątem 90° do kierunku walcowania (B) Średnia z 6 prób |

Źródło: praca własna / Source: own work

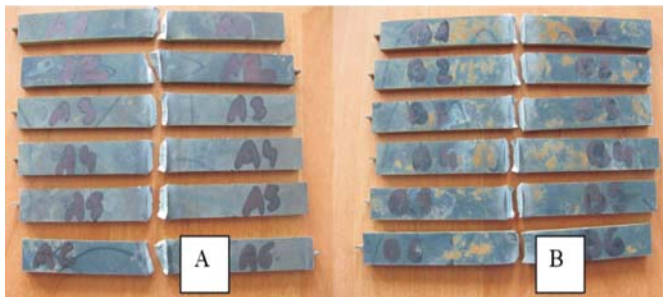


Źródło: praca własna / Source: own work

Rys. 10. Porównanie wartości pracy K [J] próbek wyciętych z próbek blach o grubości 4 mm w gatunku SSAB Boron B33 (A - wzdłuż kierunku walcowania, B - pod kątem 90° do kierunku walcowania) w próbie udarności Charpy'ego

Fig. 10. Comparison of the K [J] values of samples cut from 4 mm sheet SSAB type Boron B33 (A - along the rolling direction, B - at an angle of 90° to the rolling direction) in the Charpy impact test

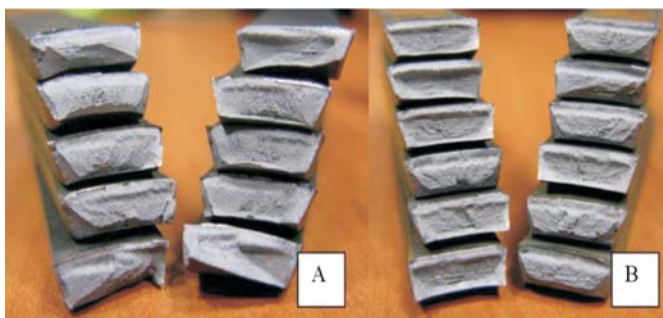
Widok próbek po porównawczym badaniu udarności przedstawiono na rys. 11 i 12.



Źródło: praca własna / Source: own work

Rys. 11. Widok próbek ze stali SSAB Boron B33, po próbie udarnościowej na młocie Charpy'ego (po lewej próbki typu A, po prawej - typu B)

Fig. 11. View of SSAB Boron B33 steel samples after impact test on Charpy hammer (on the left side - samples type A, on the right side - samples type B)

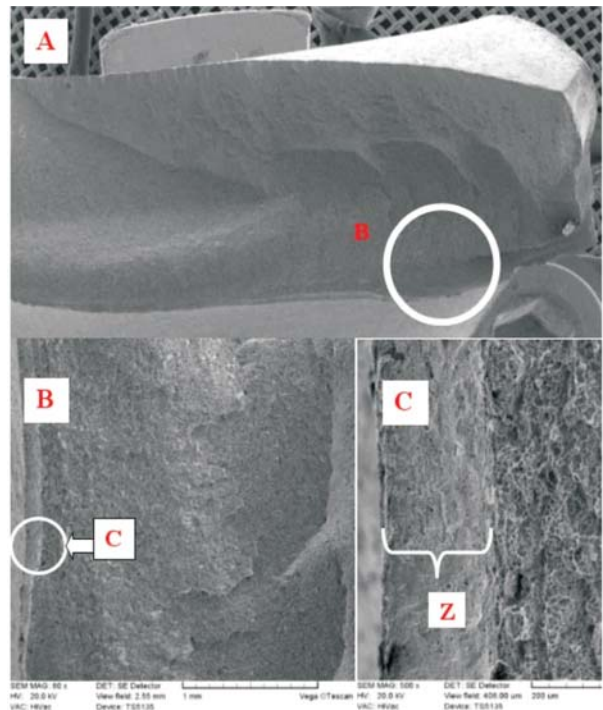


Źródło: praca własna / Source: own work

Rys. 12. Widok przelomów próbek ze stali SSAB Boron B33, po badaniu udarności (po lewej próbki typu A, po prawej - typu B)

Fig. 12. View of SSAB Boron B33 steel fractures, after impact testing (on the left side - samples type A, on the right side - samples type B)

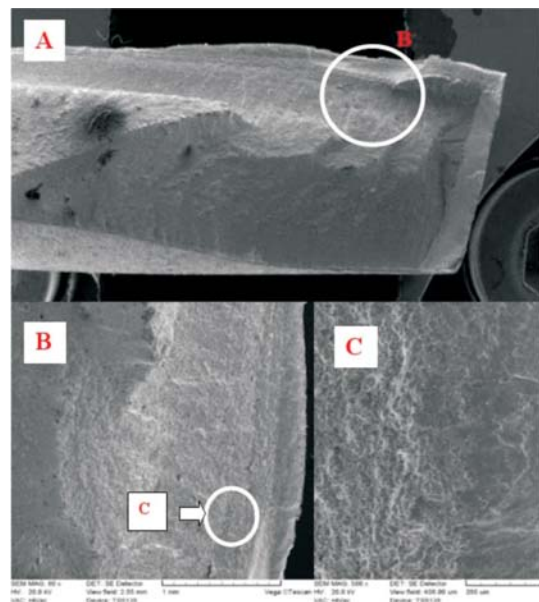
W celu dokładniejszej analizy przelomu wykonano badanie przy użyciu mikroskopu skaningowego (SEM) VEGA Tescan. Przykładowy widok topografii powierzchni przelomu próbki wyciętej wzdłuż kierunku walcowania pokazano na rys. 13, a próbki wyciętej w płaszczyźnie walcowania, pod kątem 90° do kierunku walcowania, pokazano na rys. 14.



Źródło: praca własna / Source: own work

Rys. 13. Widok przelomu próbki wyciętej wzdłuż kierunku walcowania, po badaniu udarności: A - widok całego przelomu - fotografia makro, B - widok przelomu w powiększeniu 80x, C - widok przelomu w powiększeniu 500x (obszar „Z”, o szerokości około 120 μm, powstał na skutek zgniotu materiału po uderzeniu tarana młota)

Fig. 13. View of the fracture of the sample cut along the rolling direction, after the impact test: A - view of the whole fracture - macro photography, B - fracture view at 80x magnification, C - fracture view at 500x magnification (area "Z", 120 μm wide, resulting from crushing of material after hammer strike)



Źródło: praca własna / Source: own work

Rys. 14. Widok przelomu próbki wyciętej pod kątem 90° do kierunku walcowania, po badaniu udarności: A - widok całego przelomu - fotografia makro, B - widok przelomu w powiększeniu 80x, C - widok przelomu w powiększeniu 500x

Fig. 14. View of the fracture of the sample cut at an angle of 90° to the rolling direction after the impact test: A - view of the whole fracture - macro photography, B - fracture view of 80x magnification, C - view of the fracture at 500x magnification

Wartości twardości badanej blachy ocenianej / badanej metodą Rockwella pokazano w tab. 4.

Tab. 4. Wyniki badania twardości metodą Rockwella (średnie wyniki z dziesięciu pomiarów)

Table 4. Rockwell hardness test results (mean results from ten measurements)

| Lp. | Material       | Średnia twardość Rockwella * [HRC] | Uwagi  |
|-----|----------------|------------------------------------|--|
| 1.  | SSAB Boron B33 | 53,8                               | Próbki wycięte z płaskiej blachy (w kierunku walcowania i pod kątem 90° w płaszczyźnie blachy) |
| 2.  | SSAB Boron B33 | 53,0                               | Próbki wycięte z płaskiej blachy (pod kątem 90° do kierunku walcowania w płaszczyźnie blachy)  |

Źródło: praca własna / Source: own work

### Omówienie wyników badań

Na podstawie wyników pomiarów twardości elementów oraz wyników analizy ich składu chemicznego potwierdzono, że wszystkie badane próbki stali odpowiadają gatunkowi blachy SSAB Boron B33. Stwierdzone różnice w zawartości węgla i pierwiastków stopowych, m.in. zawartość manganu, chromu, w porównaniu do danych katalogowych producenta, mogą wynikać z lokalnych zmian w strukturze materiału podczas procesu obróbki cieplnej i kształtowania (powierzchniowe odwęglenie w wierzchniej warstwie po procesie hartowania i obróbki cieplnej na poziomie 0,05-0,12 mm). Warstwa ta nie miała jednak wpływu na właściwości mechaniczne oraz twardość wyrobu.

Na podstawie obserwacji topografii przełomu próbek ze stali SSAB Boron B33, niezależnie od kierunku walcowania, z próby udarności okiem nieuzbrojonym oraz na mikroskopie skaningowym, stwierdzono, że powstałe przełomy są mieszane i mają charakterystyczne obszary dla przełomu kruchego (drobnoziarnistość) oraz plastycznego (z wyraźną płaszczyzną poślizgu). Jednocześnie zauważono, że przełom próbek wyciętych w kierunku walcowania wskazuje na większą kruchość materiału niż w przypadku ich wycięcia pod kątem 90° do

kierunku walcowania. Obszar zgniotu po uderzeniu tarana młota Charpy'ego próbek o grubości 4mm był stosunkowo duży i wynosił około 120 µm.

Wykonane badania wytrzymałościowe próbek stali SSAB Boron B33 walcowanej na gorąco i poddanej obróbce cieplnej (hartowaniu), wyciętych wzdłuż i poprzecznie do kierunku walcowania, wykazały 5%-ową anizotropię właściwości blachy. Badania udarnościowe przy użyciu młota Charpy'ego wykazały znacznie większą różnicę anizotropii (około 18%).

### Bibliografia

- [1] Gościański M., Dudziak B., Żurowski K., Ciechacki R.: Eksperymentalne, porównawcze badania wytrzymałościowe połączeń spawanych blach stalowych. PIMR TT-3/2012.
- [2] Przybyłowicz K.: Metaloznawstwo. Warszawa: WNT, 1999.
- [3] Pertek-Owsiana A., Wasilewicz P., Kulka M., Marcinkowski R.: Badania właściwości wytrzymałościowych borowanej, nawęglanej i boronawęglanej stali konstrukcyjnej 40H. Archiwum Technologii Maszyn i Automatyzacji, 2005, v. 25, 1, 109-117.
- [4] Leda H.: Wybrane metalowe materiały konstrukcyjne ogólnego przeznaczenia. Poznań: Wyd. Politechniki Poznańskiej, 1997.
- [5] Leda H.: Strukturalne aspekty własności mechanicznych wybranych materiałów. Poznań: Wyd. Politechniki Poznańskiej, 1998.
- [6] Gołaski L.: Elementy doświadczalnej mechaniki pęknięcia. Podręcznik akademicki. Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej, Kielce, 1992.
- [7] PN-EN 1993-1-10. Eurokod 3: Projektowanie konstrukcji stalowych. Część 1-10: Dobór stali ze względu na odporność na kruche pęknięcie i ciągliwość międzywarstwową (2005). UE: PKN.
- [8] PN-EN 10002-1: Metale. Próba rozciągania. Część 1: Metoda badania w temperaturze otoczenia.
- [9] PN-EN ISO 6508-1:2007: Metale. Pomiar twardości sposobem Rockwella Część 1: Metoda badań (skale A, B, C, D, E, F, G, H, K, N, T).
- [10] PN-EN ISO 148-1:2010: Metale. Próba udarności sposobem Charpy'ego. Część 1. Metoda badania.
- [11] PN-EN 10164. Wyroby stalowe o podwyższonych własnościach plastycznych w kierunku prostym do powierzchni wyrobu. Warunki techniczne dostawy (2007). UE: PKN.
- [12] Strona internetowa, dane katalogowe producenta stali, www.ssab.com.

## EFFECT OF CUTTING DIRECTION OF HOT ROLLED SSAB BORON B33 SHEET ON ITS STRENGTH PROPERTIES

### Summary

The paper presents the results of mechanical tests of SSAB Boron B33 steel plates, depending on the location of the cut. Samples were cut along the rolling direction and at an angle of 90° to the direction in the rolling plane. The results of the study were analysed. Slight anisotropy of the properties was indicated.

**Key words:** boron steel, hot rolling, strength properties



### A DICTIONARY OF AGRICULTURAL ENGINEERING IN SIX LANGUAGES

Jest pierwszym tego typu słownikiem wydanym w Polsce.

Zawiera on ponad 13.350 wiodących angielskich terminów podanych w układzie alfabetycznym z odpowiednikami w języku polskim, niemieckim, francuskim, włoskim i rosyjskim.

Wydawca: PIMR Poznań.