

Zbigniew JARMOLIŃSKI, Jarosław Robert MIKOŁAJCZYK

BADANIA WPLYWU TECHNOLOGII CIĘCIA STALI NA TWARDOŚĆ POWIERZCHNI BIJAKA

Streszczenie: Rozdrabnianie materiałów, w szczególności materiałów spożywczych, to proces wyjątkowo złożony, zależny nie tylko od konstrukcji elementów roboczych urządzenia, lecz również od rodzaju materiałów rozdrabnianych (kukurydzy, zbóż itp.). Najbardziej popularnymi elementami roboczymi rozdrabniaczy są bijaki, które można wykonywać w różnych technologiach, np. za pomocą tłoczenia, cięcia itp. W niniejszej pracy przedstawiono wpływ technologii cięcia bijaków na twardość otrzymanej powierzchni dla następujących gatunków stali: Hardox 450, Hardox 500, stal Hadfielda, Reax 500, Super Duplex, Creusambro 8000, Creusambro M oraz SW7M.

Słowa kluczowe: rozdrabniacz, młyn, bijak, cięcie stali

1. WPROWADZENIE

Bijaki stanowią element roboczy wszelkiego typu rozdrabniaczy głównie dla przemysłu spożywczego, ale nie tylko. W rozdrabniaczach tych stosuje się bijaki płytkowe lub kształtowe. Ze względu na prostotę wykonania oraz długi czas użytkowania najbardziej rozpowszechnione są bijaki płytkowe z jednym lub dwoma otworami przeznaczonymi najczęściej na sworzeń mocujący. Przykładową konstrukcję rozdrabniacza bijakowego przedstawiono na rysunku 1.

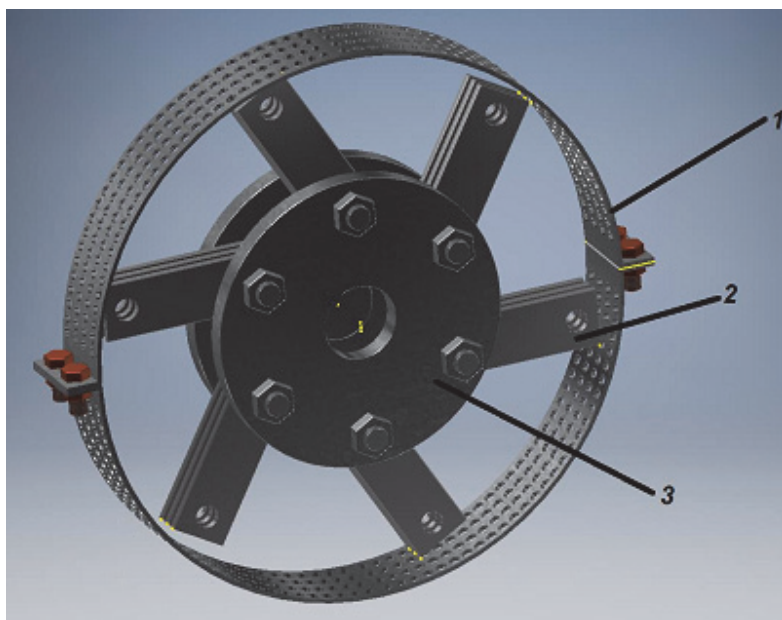
Bijaki wykonuje się głównie w technologii cięcia i wybór rodzaju tej technologii determinuje późniejsze właściwości użytkowe bijaka w korelacji z użytym materiałem rozdrabnianym, np. jęczmieniem, pszenicą itp. materiałami. Najbardziej pożądaną cechą ze względów użytkowych dla ww. urządzeń jest trudność ścieralność części roboczych, która jest ściśle związana z twardością. Generalnie można powiedzieć, że im twardszy element, tym jest trudniej ścieralny. Dlatego w prezentowanej pracy zdecydowano się na określenie wpływu rodzaju technologii cięcia na twardość wybranych gatunków stali zastosowanych na elementy robocze rozdrabniaczy [1].

W celu przeprowadzenia badań zaprojektowano i wykonano cztery rodzaje bijaków:

- bijak konwencjonalny;
- bijak zmodyfikowany wg pomysłu Jerzego Kalwaja;
- bijak wg patentu PL 173497;
- bijak obły.

¹ mgr inż. Zbigniew JARMOLIŃSKI, Zakład Projektowo-Wdrożeniowy „ROWAG” w Rogoźnie Wielkopolskim, e-mail: optima.jarmolinski@gmail.com

² dr inż. Jarosław Robert MIKOŁAJCZYK, Instytut Politechniczny, Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa im. S. Staszica w Pile, e-mail: jmikolajczyk@pwsz.pila.pl



Rys. 1. Przykładowa konstrukcja rozdrabniacza bijakowego: 1 – sito, 2 – bijaki (w uchwycie mocującym mogą być umieszczone różne rodzaje bijaków), 3 – koło bijakowe

Fig. 1. An example of a flail grinder: 1 – sieve, 2 – flails (different types of flails can be placed in a mounting bracket), 3 – beater wheel

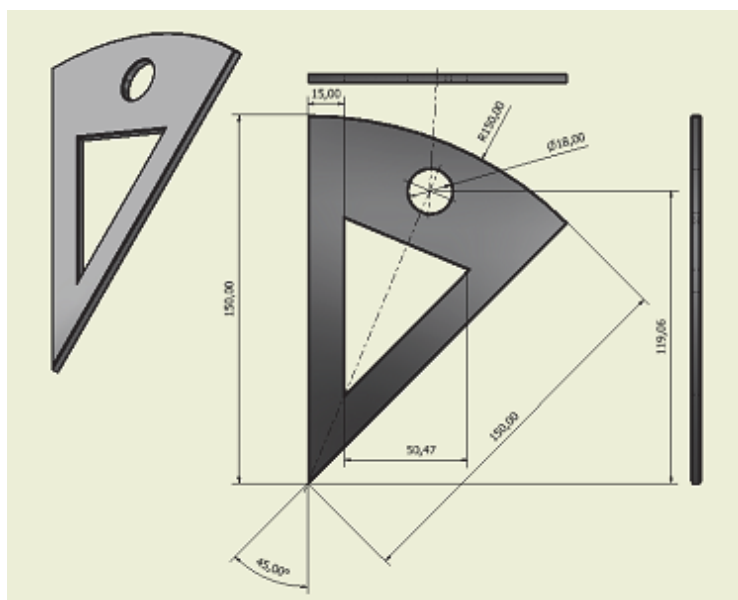
Z uwagi na to, że ww. bijaki są mocowane w konkretnym urządzeniu, część ich wymiarów jest wymuszona wymiarami gniazd mocujących. Na rysunku 2 przedstawiono bijak wg patentu PL 173497, natomiast na rysunku 3 – bijak obły. Na kolejnych rysunkach zaprezentowano zmodyfikowany bijak wg pomysłu Jerzego Kalwaja (rys. 4) oraz bijak konwencjonalny (rys. 5).

Ze względu na dostępny park maszynowy zaprojektowane wcześniej bijaki wykonano w następujących technologiach:

- cięcia plazmowego;
- cięcia laserowego;
- cięcia z wykorzystaniem metody WaterJet.

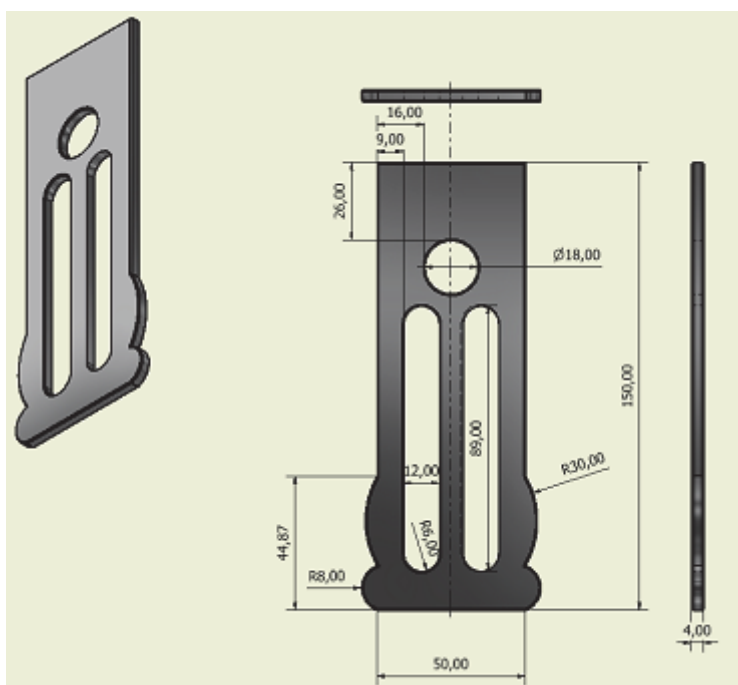
Jako materiał użyty do wykonania bijaków zastosowano następujące gatunki stali:

- Hardox 450;
- Hardox 500;
- Hadfielda;
- Reax 500;
- Super Duplex 1.4410;
- Creusabro 8000 i M;
- SW7M.



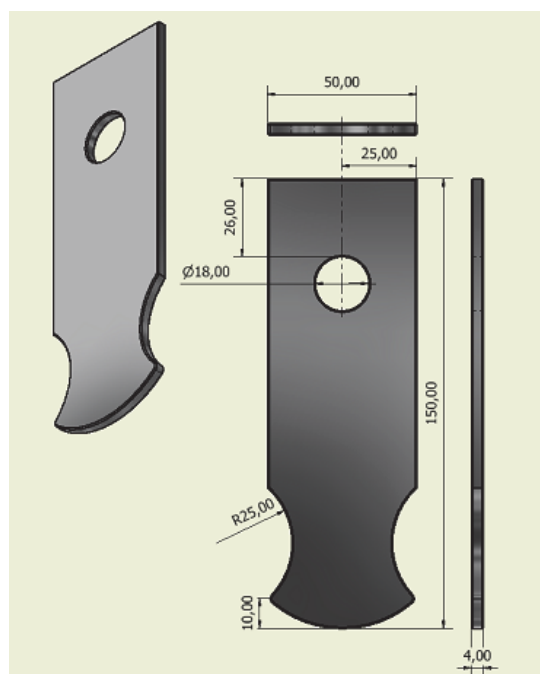
Rys. 2. Widok ogólny bijaka wg patentu PL 173497

Fig. 2. A general view of the flail according to Patent PL 173497



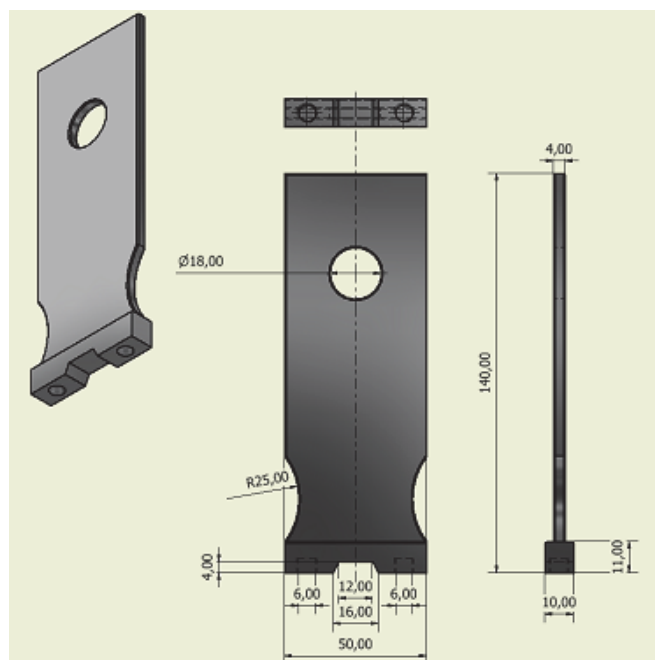
Rys. 3. Widok ogólny bijaka obłego

Fig. 3. A general view of a round flail



Rys. 4. Widok ogólny bijaka wg pomysłu Jerzego Kalwaja

Fig. 4. A general view of a flail according to the idea of Jerzy Kalwaj



Rys. 5. Widok ogólny bijaka konwencjonalnego mocowanego w oprawce

Fig. 5. A general view of a common flail mounted in the holder

Na rysunkach 6 i 7 zostały przedstawiono przykładowe bijaki wykonane w określonej technologii cięcia. Wszystkie bijaki są zrobione z blach o grubości 4 mm.



Rys. 6. Widok bijaka konwencjonalnego mocowanego na otworze, wykonanego za pomocą cięcia z wykorzystaniem metody WaterJet (fot. Z. Jarmoliński)

Fig. 6. A general view of a common flail mounted on the hole, made with the WaterJet cutting method (photo by Z. Jarmoliński)



Rys. 7. Widok bijaka konwencjonalnego mocowanego na otworze, wykonanego za pomocą cięcia laserem (fot. Z. Jarmoliński)

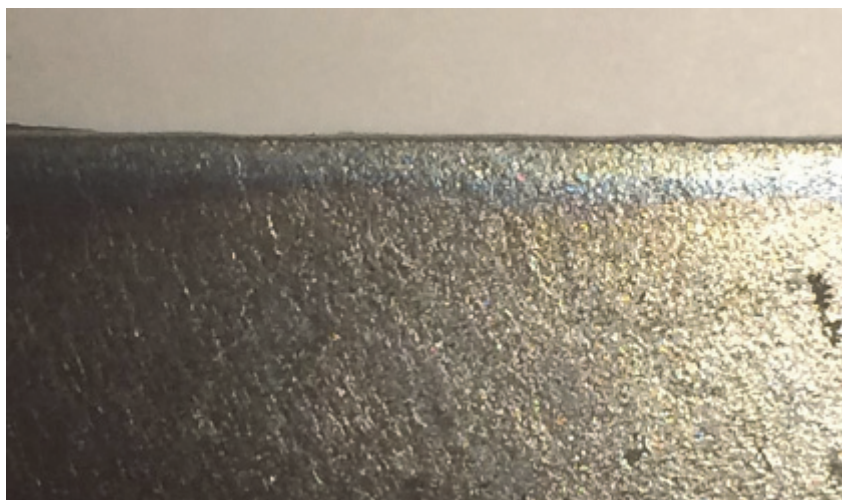
Fig. 7. A general view of a common flail mounted on the hole, made with laser cutting (photo by Z. Jarmoliński)

Stosowanie technologii cięcia z wykorzystaniem metody WaterJet minimalizuje lub nawet eliminuje strefę wpływu ciepła. Od strony wyjścia strumienia wody nie ma odpadowego materiału po cięciu (nie ma nawisu). Podczas stosowania tej metody można zauważyć jednak pewne pochylenie krawędzi cięcia tym większe, im większe są: zużycie dysz podających strumień wody (lub wody i ścierniwa), prędkość cięcia oraz grubość obrabianego materiału.

Poprzez zastosowanie cięcia laserowego można otrzymać krawędź prostopadłą do bocznej powierzchni blachy. Wielkość nawisu po wyjściu wiązki laserowej jest znikoma.

Cięcie plazmą powoduje powstawanie strefy wpływu ciepła w materiale rodzimym oraz znacznego nawisu stopionego materiału, który zazwyczaj wymaga dodatkowej obróbki wykończeniowej – należy go usunąć.

Na rysunkach 8 oraz 9 przedstawiono widok powierzchni po cięciu plazmą od strony wejścia i wyjścia strumienia plazmy. Na rysunku 10 natomiast przedstawiono widok od czoła krawędzi po cięciu plazmą. Na kolejnych rysunkach – widok krawędzi po cięciu z wykorzystaniem metody WaterJet (rys. 11) oraz po cięciu laserem (rys. 12).



Rys. 8. Widok po cięciu plazmą od strony wejścia strumienia plazmy (fot. Z. Jarmoliński)

Fig. 8. A view after plasma cutting from the entrance side of the plasma stream (photo by Z. Jarmoliński)



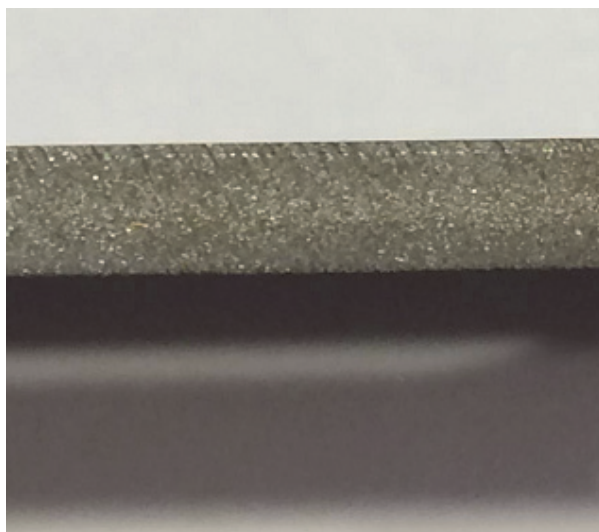
Rys. 9. Widok po cięciu plazmą od strony wyjścia strumienia plazmy (fot. Z. Jarmoliński)

Fig. 9. A view after plasma cutting from the exit side of the plasma stream (photo by Z. Jarmoliński)



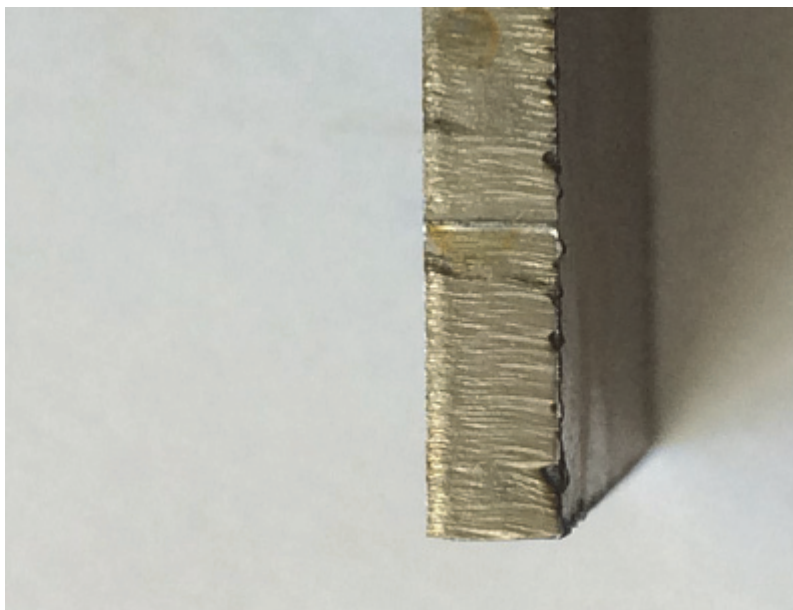
Rys. 10. Widok krawędzi po cięciu plazmą (fot. Z. Jarmoliński)

Fig. 10. A view of an edge after plasma cutting (photo by Z. Jarmoliński)



Rys. 11. Widok krawędzi po cięciu za pomocą metody WaterJet (fot. Z. Jarmoliński)

Fig. 11. A view of an edge after cutting with the method WaterJet (photo by Z. Jarmoliński)

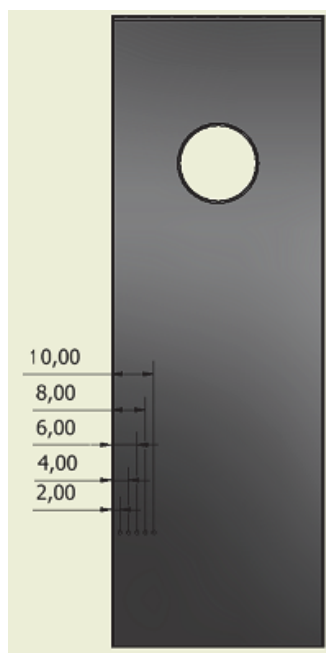


Rys. 12. Widok krawędzi po cięciu laserem (fot. Z. Jarmoliński)

Fig. 12. A view of an edge after laser cutting (photo by Z. Jarmoliński)

2. WARUNKI POMIARÓW

Do pomiaru twardości posłużono się metodą Rockwella. Zakres pomiarowy: 20÷67. Stożek diamentowy. Obciążenie wstępne 98 [N], główne 1373 [N], całkowite 1471 [N]. Na rysunku 13 przedstawiono miejsca pomiaru wartości twardości próbek wykonanych z wykorzystaniem danej technologii cięcia, w zależności od odległości od krawędzi cięcia. Twardość mierzono w odległości 2, 4, 6, 8 oraz 10 mm od krawędzi cięcia. Dla każdego pomiaru twardości w zależności od odległości od krawędzi cięcia wykonano pięć powtórzeń pomiarów w miejscach przedstawionych na rysunku 14. Na samej powierzchni cięcia pomiaru nie wykonywano ze względu na możliwość uszkodzenia twardościomierza nierównościami otrzymanej po procesie cięcia powierzchni.



Rys. 13. Odległości pomiaru twardości próbek od krawędzi cięcia [mm]
Fig. 13. Distances of hardness measurements from the cutting edge [mm]



Rys. 14. Miejsca pomiarów twardości próbek bijaków dla danej odległości od krawędzi cięcia
Fig. 14. Place for hardness measurements of flail samples for a given distance from the cutting edge

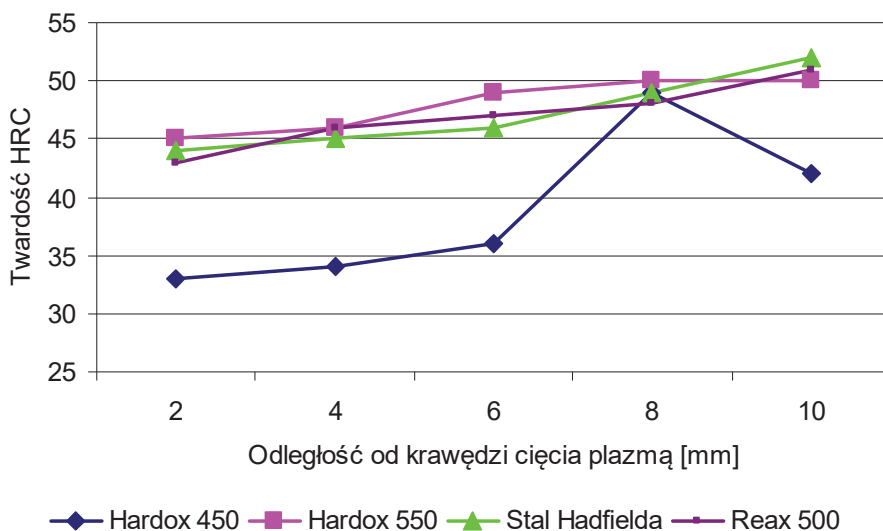
3. WYNIKI BADAŃ

Poniżej przedstawiono otrzymane wyniki. W tabeli 1 zestawiono średnie wartości zmierzonych twardości HRC wybranych gatunków stali po cięciu plazmą w zależności od odległości od krawędzi cięcia, ww. dane przedstawiono w formie graficznej na rysunkach 15 i 16. Dla każdego z badanych gatunków stali można zauważyć znaczną zmianę twardości w zależności od odległości od krawędzi cięcia. Nie są to zmiany prostoliniowe. Świadczy to o dużej strefie wpływu ciepła, towarzyszącej tej metodzie cięcia. Spośród badanych gatunków i stale Hardo 450 oraz SW7M wykazują największą wrażliwość na zmianę twardości dla tej metody cięcia. Dla stali Hardo 450 nastąpiło obniżenie twardości ze 100% (43 HRC) dla stanu przed obróbką cięcia do ok. 76% (33 HRC) po obróbce cięcia w odległości 2 mm od krawędzi cięcia. Dla stali SW7M nastąpił natomiast wzrost twardości ze 100% (27 HRC) dla stanu przed obróbką cięcia do ok. 148% (40 HRC) po obróbce cięcia plazmą w odległości 6 mm od krawędzi. To bardzo dużo. Zazwyczaj wzrostowi twardości towarzyszy wzrost kruchości, a to dla maszyn lub ich elementów pracujących uderowo może być niebezpieczne. Tym samym metoda cięcia plazmą może powodować znaczne nieprzewidywalne zmiany wytrzymałościowe części roboczych spowodowane dużą strefą wpływu ciepła.

Tabela 1. Średnie wartości zmierzonych twardości HRC wybranych gatunków stali po cięciu plazmą w zależności od odległości od krawędzi cięcia

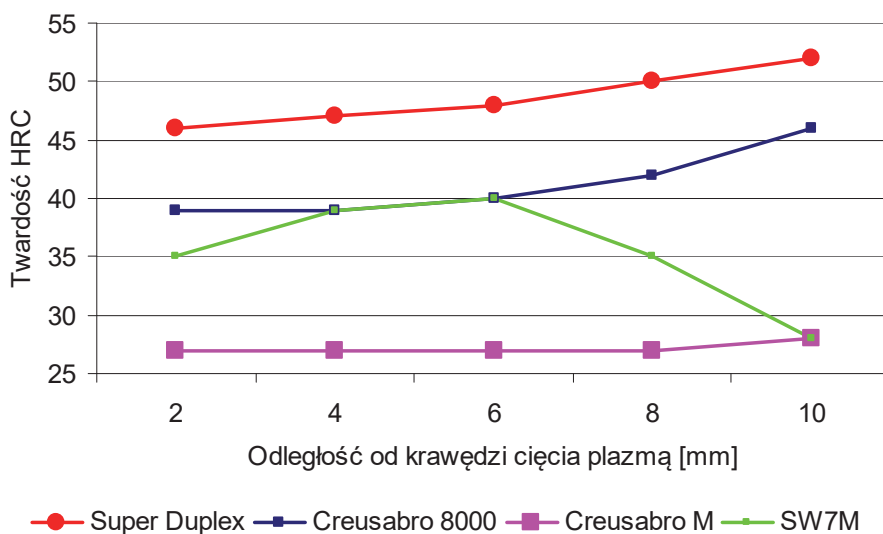
Table 1. Average values of measured HRC hardness of selected steel grades after plasma cutting depending on the distance from the cutting edge

Bijak konwencjonalny	Hardox 450	Hardox 550	Stal Hadfielda	Reax 500	Super Duplex	Creusabro 8000	Creusabro M	Stal SW7M
Twardość przed obróbką cięcia	43	52	53	53	53	48	28	27
Odległość 2 mm	33	45	44	43	46	39	27	35
Odległość 4 mm	34	46	45	46	47	39	27	39
Odległość 6 mm	36	49	46	47	48	40	27	40
Odległość 8 mm	49	50	49	48	50	42	27	35
Odległość 10 mm	42	50	52	51	52	46	28	28



Rys. 15. Graficzne przedstawienie zależności twardości HRC od odległości od krawędzi cięcia plazmą dla następujących gatunków stali: Hardox 450, Hardox 550, stal Hadfielda, Reax 500

Fig. 15. A graphical representation of the dependence of the HRC hardness on the distance from the plasma cutting edge for the following steel grades: Hardox 450, Hardox 550, Hadfield steel, Reax 500



Rys. 16. Graficzne przedstawienie zależności twardości HRC od odległości od krawędzi cięcia plazmą dla następujących gatunków stali: Super Duplex, Creusabro 8000, Creusabro M, SW7M

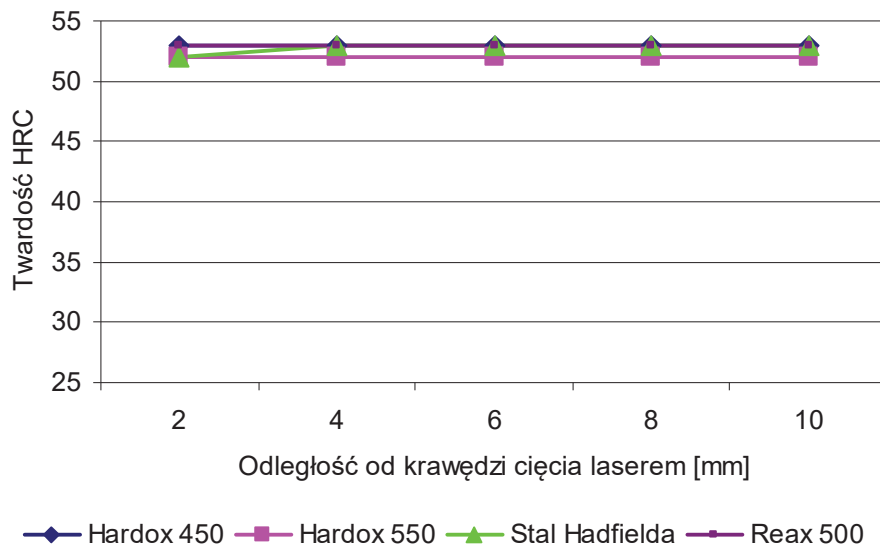
Fig. 16. Graphical representation of the dependence of the HRC hardness on the distance from the plasma cutting edge for the following steel grades: Super Duplex, Creusabro 8000, Creusabro M, SW7M

W tabeli 2 zestawiono średnie wartości zmierzonych twardości HRC wybranych gatunków stali po cięciu laserem w zależności od odległości od krawędzi cięcia. Na ich podstawie sporządzono wykresy przedstawione na rysunkach 17 i 18.

Tabela 2. Średnie wartości zmierzonych twardości HRC wybranych gatunków stali po cięciu laserem w zależności od odległości od krawędzi cięcia

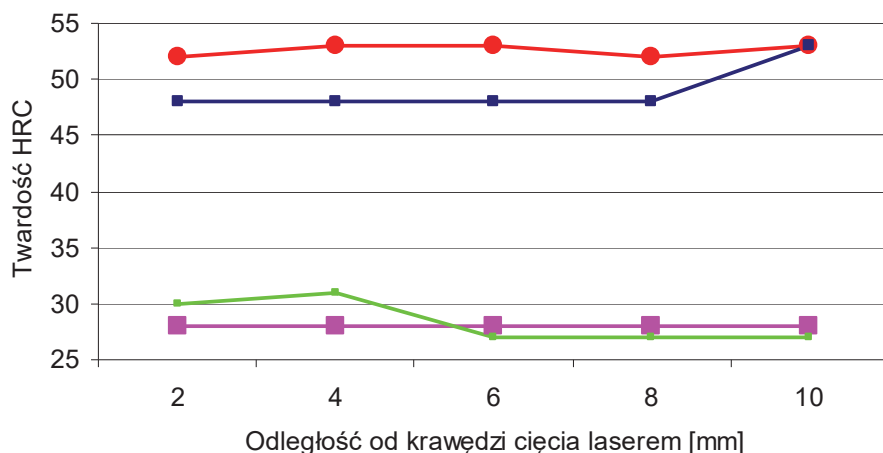
Table 2. Average values of measured HRC hardness of selected steel grades after laser cutting depending on the distance from the cutting edge

Bijak konwencjonalny	Hardox 450	Hardox 550	Stal Hadfielda	Reax 500	Super Duplex	Creusabro 8000	Creusabro M	Stal SW7M
Twardość przed obróbką cięcia	43	52	53	53	53	48	28	27
Odległość 2 mm	43	52	52	53	52	48	28	30
Odległość 4 mm	44	52	53	53	53	48	28	31
Odległość 6 mm	43	52	53	53	53	48	28	27
Odległość 8 mm	43	52	53	53	52	48	28	27
Odległość 10 mm	43	52	53	53	53	53	28	27



Rys. 17. Graficzne przedstawienie zależności twardości HRC od odległości od krawędzi cięcia laserem dla następujących gatunków stali: Hardox 450, Hardox 550, stal Hadfielda, Reax 500

Fig. 17. A graphical representation of the HRC hardness dependence on the distance from the laser cutting edge for the following steel grades: Hardox 450, Hardox 550, Hadfield steel, Reax 500



—●— Super Duplex —■— Creusabro 8000 —■— Creusabro M —◆— SW7M

Rys. 18. Graficzne przedstawienie zależności twardości HRC od odległości od krawędzi cięcia laserem dla następujących gatunków stali: Super Duplex, Creusabro 8000, Creusabro M, SW7M

Fig. 18. A graphical representation of the HRC hardness dependence on the distance from the laser cutting edge for the following steel grades: Super Duplex, Creusabro 8000, Creusabro M, SW7M

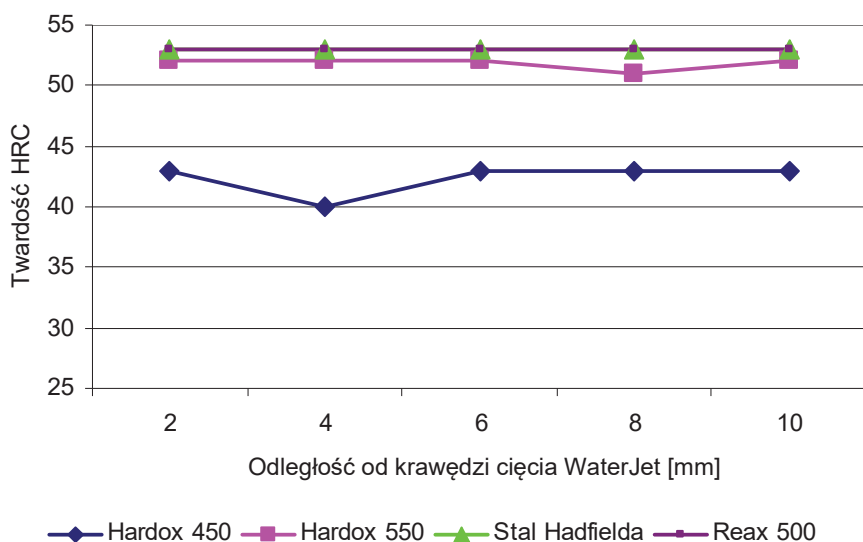
Dla stali Hardox 450, Hardox 550, stali Hadfielda, Reax 500, Creusabro M praktycznie nie stwierdzono zmian twardości w zależności od odległości od krawędzi cięcia dla tej metody obróbki. Dla stali Super Duplex, Creusabro 8000 oraz SW7M wystąpiły natomiast nieznaczne zmiany twardości tylko dla pewnych przedziałów odległości od krawędzi cięcia i nie przekraczały one 10% wartości początkowej (przed obróbką cięcia laserem). Świadczyć to może o niewielkiej strefie wpływu ciepła towarzyszącej tej metodzie obróbki, co jest korzystne w kontekście wytrzymałości danej konstrukcji/elementu roboczego.

W tabeli 3 zestawiono średnie wartości zmierzonych twardości HRC wybranych gatunków stali po cięciu za pomocą metody WaterJet w zależności od odległości od krawędzi cięcia, które w formie graficznej przedstawiono na rysunkach 19 i 20. Dla tej metody cięcia zmian twardości albo nie stwierdzono, jak dla stali Hadfielda oraz Reax 500, albo są one niewielkie i nie przekraczają 5%.

Tabela 3. Średnie wartości zmierzonych twardości HRC wybranych gatunków stali po cięciu za pomocą metody WaterJet w zależności od odległości od krawędzi cięcia

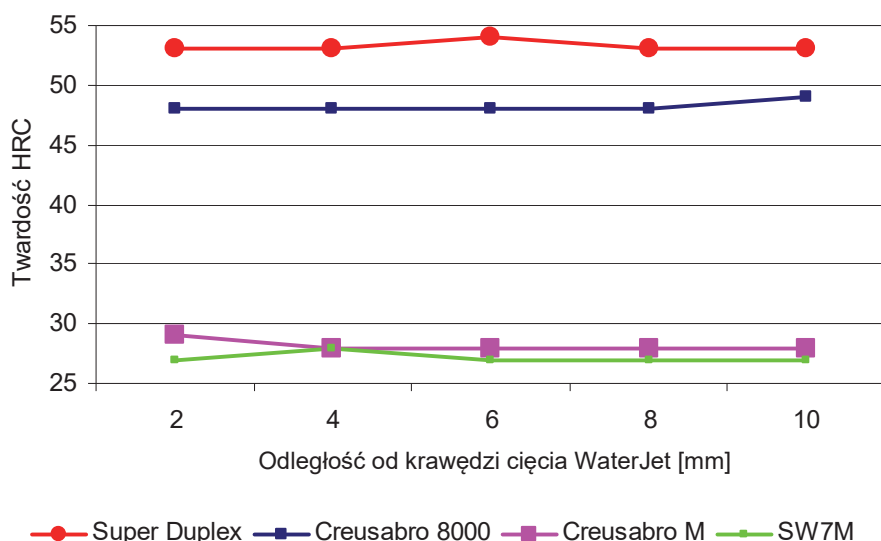
Table 3. Average values of measured HRC hardness of selected steel grades after WaterJet cutting depending on the distance from the cutting edge

Bijak konwencjonalny	Hardox 450	Hardox 550	Stal Hadfielda	Reax 500	Super Duplex	Creusabro 8000	Creusabro M	Stal SW7M
Twardość przed obróbką cięcia	43	52	53	53	53	48	28	27
Odległość 2 mm	43	52	53	53	53	48	29	27
Odległość 4 mm	40	52	53	53	53	48	28	28
Odległość 6 mm	43	52	53	53	54	48	28	27
Odległość 8 mm	43	51	53	53	53	48	28	27
Odległość 10 mm	43	52	53	53	53	49	28	27



Rys. 19. Graficzne przedstawienie zależności twardości HRC od odległości od krawędzi cięcia za pomocą metody WaterJet dla następujących gatunków stali: Hardox 450, Hardox 550, stal Hadfielda, Reax 500

Fig. 19. A graphical representation of the HRC hardness dependence on the distance from the cut edge using the WaterJet method for the following steel grades: Hardox 450, Hardox 550, Hadfield steel, Reax 500



Rys. 20. Graficzne przedstawienie zależności twardości HRC od odległości od krawędzi cięcia za pomocą metody WaterJet dla następujących gatunków stali: Super Duplex, Creusabro 8000, Creusabro M, SW7M

Fig. 20. A graphical representation of the HRC hardness dependence on the distance from the cut edge using the WaterJet method for the following steel grades: Super Duplex, Creusabro 8000, Creusabro M, SW7M

Najlepszą technologią do obróbki bijaków jest cięcie z wykorzystaniem metody WaterJet lub cięcie laserem. Ze względów: ekonomicznego i jakościowego obróbka laserem jest metodą mniej czasochłonną i oszczędniejszą przy zachowaniu odpowiedniej jakości krawędzi cięcia i nienaruszeniu struktury materiału. Niezdatna jest metoda cięcia plazmą, gdyż powoduje uszkodzenie materiału.

4. PODSUMOWANIE

Przeprowadzone badania wpływu technologii cięcia bijaków na twardość powierzchni dla wybranych gatunków stali wykazały znaczny wpływ metody cięcia plazmą na twardość otrzymanych elementów konstrukcyjnych. Zmiana twardości od odległości od krawędzi cięcia jest zmianą nieprostoliniową. Z badanych materiałów stale Hardox 450 oraz SW7M wykazały największe zmiany twardości (odpowiednio ok. 77% i 148%). Cięcie za pomocą metody WaterJet wprowadza najmniejsze zmiany twardości obrabianych materiałów. Spowodowane jest to zapewne niewielką strefą wpływu ciepła towarzyszącą tej metodzie obróbki.

LITERATURA

- [1] DMITREWSKI J.: Teoria konstrukcji maszyn, t. 3: Maszyny i urządzenia do produkcji zwierzęcej. Państwowe Wydawnictwo Rolnicze i Leśne Warszawa, 1978.
- [2] FLIZIKOWSKI J.: Konstrukcja rozdrabniaczy żywności. Wydawnictwa Uczelniane Akademii Techniczno-Rolniczej w Bydgoszczy Bydgoszcz, 2005.
- [3] GROCHOWICZ J.: Technologia produkcji mieszanek paszowych. Państwowe Wydawnictwo Rolnicze i Leśne Warszawa, 1996.
- [4] <http://www.stal-hurt.com/oferta/hardox-450/> (dostęp: 11.05.2019).
- [5] KALWAJ J.: Wpływ konstrukcji bijaków na efektywność rozdrabniania uderowego ziarna zbóż. Inżynieria i Aparatura Chemiczna, SIGMA Warszawa, 2009.
- [6] LEWACKI P. (praca zbiorowa): Inżynieria procesowa i aparatura przemysłu spożywczego. Państwowe Wydawnictwo Naukowe Warszawa, 2017.
- [7] NIEWIADOMSKI S.: Maszyny i aparaty przemysłu chemicznego. Cz. 1 i 2. Państwowe Wydawnictwo Techniczne Warszawa, 1955.
- [8] OPIELAK M.: Wybrane zagadnienia rozdrabniania materiałów w przemyśle rolno-spożywczym. Wydawnictwo Akademii Rolniczej w Lublinie Lublin, 1997.
- [9] Patent PL 173497. Twórcy: Bochat A., Bogusz M.: Zespół roboczy urządzenia do rozdrabniania materiałów.
- [10] UZAROWICZ L., WOROCH S.: Maszyny i urządzenia młyńskie. Wydawnictwa Szkolne i Pedagogiczne Warszawa, 1977.

RESEARCH OF THE INFLUENCE OF STEEL CUTTING TECHNOLOGY ON THE STRENGTH OF THE HAMMER

Summary: The process of grinding materials, in particular food materials, is an extremely complex process, depending not only on the construction of the device's working elements, but also on the type of materials to be grinded (maize, cereals, etc.). The most popular working elements of grinders are flails, which can be made in various technologies, for example by pressing, cutting etc. The present work presents the impact of cutting technology on the hardness of the obtained surface for the following steel grades: Hardox 450, Hardox 500, Hadfield steel, Reax 500, Super Duplex, Creusambro 8000, Creusambro M and SW7M.

Key words: grinder, mill, flail, steel cutting