

Łukasz ŻYŁKA¹

Robert BABIARZ²

Marcin PŁODZIEN³

Paweł SUŁKOWICZ⁴

Mateusz PASIERB⁵

ZASTOSOWANIE CO₂ JAKO CHŁODZIWA W PROCESIE TOCZENIA

Zastosowanie chłodziwa w procesach obróbkowych ma istotne znaczenie dla przebiegu i wyniku procesu skrawania. Jedną z podstawowych funkcji, jakie spełniają chłodziwa w procesie skrawania, jest redukcja temperatury w strefie skrawania, a przez to m.in. zwiększenie trwałości narzędzia. Z uwagi na uciążliwość dla środowiska naturalnego chłodziw na bazie olejów oraz ograniczone zdolności przemieszczania ciepła skrawania stale poszukuje się innych, proekologicznych mediów chłodzących, głównie w postaci gazowej. W związku z tym w artykule przedstawiono wyniki badań zastosowania ciekłego CO₂ jako chłodziwa w procesie toczenia stali. Mierzono składowe siły skrawania oraz temperaturę w strefie skrawania. Porównano proces chłodzenia CO₂ z obróbką na sucho i z zastosowaniem sprężonego powietrza. W wyniku zastosowania ciekłego CO₂ jako chłodziwa uzyskano znaczącą redukcję temperatury oraz składowych siły skrawania.

Słowa kluczowe: toczenie, chłodzenie, CO₂

1. Wprowadzenie

Procesowi skrawania towarzyszy powstawanie dużej ilości ciepła. Szacuje się, że prawie cała energia dostarczana do procesu jest zamieniana w ciepło [3]. Ciepło wnika do wszystkich elementów składowych procesu skrawania, głównie do przedmiotu obrabianego i narzędzia, powodując wzrost ich temperatury. Wzrost temperatury przedmiotu obrabianego może mieć charakter lokalny, polegający na występowaniu dużych gradientów temperatur na powierzchni obrabianej. Może to skutkować przemianami fazowymi lub strukturalnymi materiału.

¹ Autor do korespondencji/corresponding author: Łukasz Żyłka, Politechnika Rzeszowska, ul. W. Pola 2, 35-959 Rzeszów, tel.: 17 8651374, e-mail: zylka@prz.edu.pl

² Robert Babiarez, Politechnika Rzeszowska, e-mail: robertb@prz.edu.pl

³ Marcin Płodzień, Politechnika Rzeszowska, e-mail: plodzien@prz.edu.pl

⁴ Paweł Sułkowicz, Politechnika Rzeszowska, e-mail: sulkowicz@prz.edu.pl

⁵ Mateusz Pasierb, absolwent Politechniki Rzeszowskiej

W konsekwencji miejscowo w warstwie wierzchniej będą występować strefy materiału o zmienionych właściwościach, głównie mechanicznych. Zmiana właściwości materiału na skutek działania wysokiej temperatury powoduje zazwyczaj pogorszenie właściwości eksploatacyjnych powierzchni. Dlatego też należy unikać wzrostu temperatury na powierzchni przedmiotu obrabianego, aby nie doprowadzić do termicznego uszkodzenia warstwy wierzchniej.

W procesie skrawania może również dojść do sytuacji, w której ciepło wnika do przedmiotu obrabianego i powoduje wzrost jego temperatury. Na skutek zjawiska rozszerzalności cieplnej materiału dochodzi do zmiany wymiarów przedmiotu obrabianego. W związku ze zwiększeniem wymiarów przedmiotu zwiększeniu ulegnie również naddatek obróbkowy, jaki został przewidziany do usunięcia. W konsekwencji, po ostygnięciu przedmiot może mieć wymiary poniżej pola tolerancji. Skutkuje to zabrakowaniem przedmiotu. Kolejną konsekwencją generowania ciepła w procesie skrawania jest nagrzewanie ostrza narzędzia [2, 5, 6]. Wzrost temperatury ostrza przyczynia się przede wszystkim do zwiększenia intensywności jego zużycia [4]. Wysokie temperatury są niejako aktywatorem reakcji chemicznych oraz utleniania, zwiększając również intensywność zużycia ściernego.

Istotne jest zatem poszukiwanie rozwiązań, które zapewnią przejmowanie ciepła skrawania oraz redukcję temperatury przedmiotu obrabianego i narzędzia. Jednym z kierunków rozwoju chłodzenia w procesie skrawania jest stosowanie płynów chłodząco-smarujących (PCS) o niskiej temperaturze w postaci ciekłego azotu, wodoru czy dwutlenku węgla [7, 8]. Media te w postaci ciekłej są w stanie schłodzić narzędzie oraz przedmiot obrabiany do temperatury poniżej zera [1]. W związku z tym przeprowadzono badania doświadczalne wpływu zastosowania ciekłego CO₂ na proces toczenia stali.

2. Warunki badań doświadczalnych

Podstawą stanowiska badawczego była tokarka uniwersalna Knuth V-Turn 410, która została wyposażona w kamerę termowizyjną do rejestracji procesów szybkozmiennych FLIR SC5200 (rys. 1). Przedmiotem obrabianym był wał wykonany ze stali 41Cr4, na którym zostały nacięte rowki umożliwiające bezpieczne wyjście narzędzia z materiału po zakończeniu każdej próby. Wał podparto kłmem w celu uzyskania większej sztywności. Zastosowano nóż tokarski SVJBR 2020K 16 z zamocowaną płytką VCMT 160408-SM IC 907. Narzędzie zamocowano w siłomierzu piezoelektrycznym 9121 firmy Kistler. Ładunek był wzmacniany za pomocą wzmacniacza Kistler 5070. Zastosowano przetwornik analogowo-cyfrowy NI 6009. Dane rejestrowano w komputerze za pomocą oprogramowania LabVIEW. Badania prowadzono na sucho, podając sprężone powietrze o ciśnieniu 0,6 MPa oraz skroplony CO₂. Zastosowano stałe parametry skrawania: głębokość skrawania $a_p = 1$ mm oraz prędkość skrawania $v_c = 50$ m/min. Dla

każdego rodzaju chłodzenia oraz obróbki na sucho zmieniano posuw $f = 0,05; 0,085; 0,13$ mm/obr.

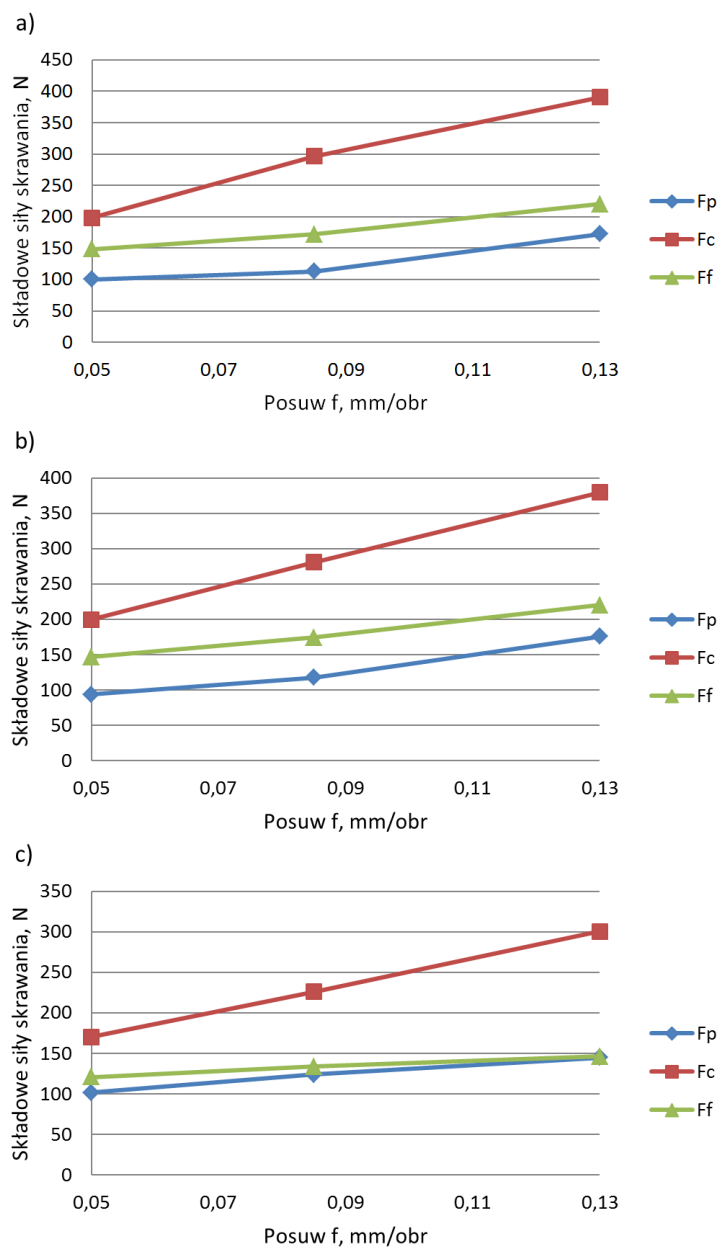


Rys. 1. Stanowisko badawcze

Fig. 1. Test stand

3. Analiza składowych siły skrawania

Rejestrowano trzy składowe siły skrawania: składową główną F_c , składową posuwową F_f i składową odporową F_p . Na wykresach (rys. 2) przedstawiono zmianę wartości składowych siły skrawania w funkcji posuwu dla trzech badanych metod chłodzenia. Z przedstawionych danych wynika, że w procesie toczenia stali z użyciem chłodziwa CO₂ obserwuje się znaczący spadek wartości sił w porównaniu z toczeniem na sucho i ze sprężonym powietrzem. Przykładowo wartość składowej F_c dla $f = 0,13$ mm/obr. jest o ok. 25% niższa niż w przypadku obróbki na sucho lub ze sprężonym powietrzem. Tendencja ta utrzymuje się niezależnie od wartości posuwu. Podobny wpływ wywiera zastosowanie CO₂ na wartość składowej posuwowej. Na uwagę zasługuje fakt, że stosowanie chłodziwa CO₂ nie wpływa znacząco na wartość składowej odporowej siły skrawania. Niezależnie do rodzaju chłodzenia siła ta ma stałą wartość. Wyniki badań pozwalają stwierdzić, że zastosowane toczenie na sucho i ze sprężonym powietrzem nie ma znaczącego wpływu na wartości składowych siły skrawania. Z kolei zastosowanie CO₂ wpływa korzystnie na proces skrawania, gdyż prowadzi do obniżenia wartości składowych F_c i F_f o ok. 1/4.

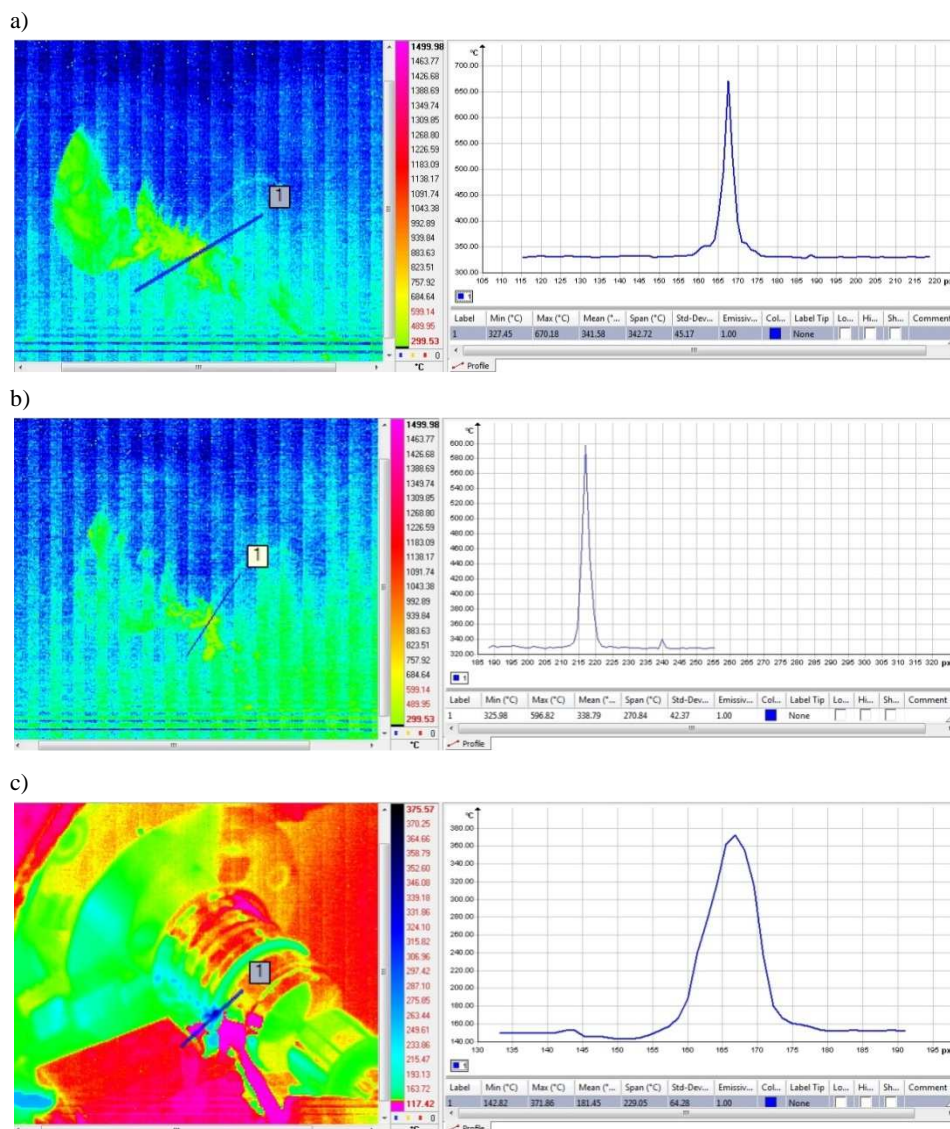


Rys. 2. Zmiana składowych siły skrawania w funkcji posuwu, w toczeniu: a) na sucho, b) ze sprężonym powietrzem, c) z CO₂

Fig. 2. Changes of the cutting force components as a function of feed in turning: a) without coolant, b) with compressed air, c) with CO₂

4. Analiza temperatury skrawania

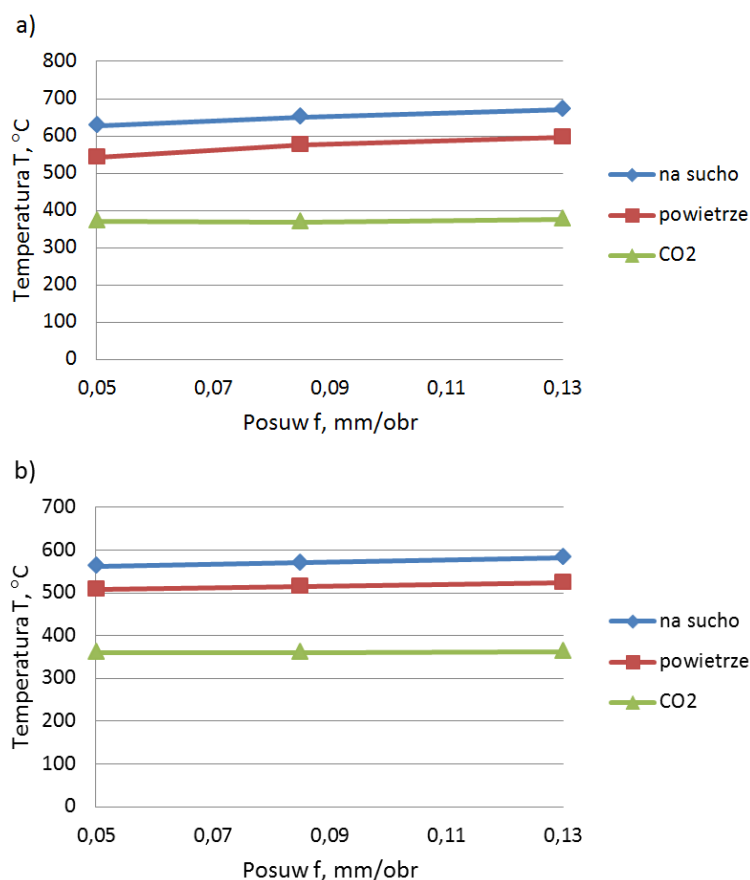
Rejestrowano temperaturę skrawania dla trzech metod chłodzenia, w każdej zmieniając wartość posuwu. Otrzymane termogramy poddano analizie pod kątem miejsca występowania najwyższej temperatury, a następnie przeprowadzono



Rys. 3. Rozkład pola temperatur dla posuwu $f = 0,13$ mm/obr. podczas toczenia: a) na sucho, b) z chłodzeniem sprężonym powietrzem, c) z chłodzeniem CO₂

Fig. 3. Distribution of the temperature for feed $f = 0.13$ mm/rev in turning: a) without cooling, b) with compressed air cooling c) with CO₂ cooling

przekrój prostą. Wzdłuż prostej były odczytywane wartości zarejestrowanych temperatur, z których tworzono dwuwymiarowe wykresy. Przykładowe wyniki przedstawiono na rys. 3. Następnie zestawiono wartości maksymalne oraz wartości średnie temperatur w funkcji posuwu dla trzech sposobów chłodzenia. Wyniki przedstawiono na rys. 4.



Rys. 4. Zmiana temperatury skrawania w funkcji posuwu: a) wartości maksymalne, b) wartości średnie

Fig. 4. Changes of the cutting temperature as a function of feed: a) maximum values, b) average values

Zastosowanie chłodzenia skroplonym dwutlenkiem węgla spowodowało zdecydowane obniżenie wartości zarejestrowanych maksymalnych temperatur. Dla posuwu $f = 0,05$ mm/obr. odnotowano najniższą temperaturę, która wyniosła 370°C . Zaobserwowano również, że wzrost posuwu w toczeniu z chłodzeniem CO_2 ma niewielki wpływ na temperaturę, gdyż dla $f = 0,13$ mm/obr. maksymalna temperatura wyniosła 375°C . Różnica pomiędzy procesem z $f = 0,05$ mm/obr.

to zaledwie 5°C. Największą różnicę temperatur zaobserwowano dla $f = 0,13$ mm/obr. W procesie toczenia z zastosowaniem CO₂ uzyskano temperaturę 375°C, co daje aż 295°C różnicy w porównaniu z obróbką na sucho. Dla $f = 0,05$ mm/obr. różnica wyniosła 269°C, a dla $f = 0,085$ mm/obr.: 281°C.

Obliczając średnie wartości temperatur, można dostrzec, że charakter zmian i różnic wartości jest bardzo podobny jak w przypadku wartości maksymalnych. Charakterystyki zmiany temperatury dla wszystkich sposobów chłodzenia są zbliżone do liniowych.

Zastosowanie chłodzenia CO₂ spowodowało, że średnia temperatura dla każdego z trzech posuwów była prawie identyczna. Może to świadczyć o bardzo dużej intensywności chłodzenia strefy skrawania, tak dużej że wpływ wielkości posuwu w badanym zakresie jest pomijalny.

5. Podsumowanie

Przeprowadzone badania dowiodły, że zagadnienie chłodzenia procesu skrawania jest bardzo istotne. Wybór medium chłodzącego wpływa m.in. na wartości składowych siły skrawania oraz na temperaturę skrawania. Wykazano, że zastosowanie ciekłego dwutlenku węgla jako chłodziwa przyczyniło się znacząco do redukcji wartości składowych siły skrawania, głównie F_c i F_f , średnio o ok. 25%. To z kolei powoduje zmniejszone obciążenie mechaniczne przedmiotu obrabianego i narzędzia. Zastosowanie CO₂ spowodowało przede wszystkim znaczącą redukcję temperatury skrawania, średnio o ok. 300°C. W porównaniu z temperaturą zarejestrowaną podczas obróbki na sucho oznacza to jej zmniejszenie prawie o 50%.

Literatura

- [1] Chorowski M.: Kriogenika – podstawy i zastosowania, Wydawnictwo MASTA, Gdańsk 2007.
- [2] Dhananchezian M., Pradeep Kumar M.: Cryogenic turning of the Ti-6Al-4V alloy with modified cutting tool inserts, *Cryogenics*, 51 (2011) 34-40.
- [3] Jawahir I.S.: Cryogenic manufacturing processes, *CIRP Annals – Manuf. Technol.*, 65 (2016) 713-736.
- [4] Oczóś K.E.: Zwiększenie efektywności procesów skrawania stopów tytanu, *Mechanik*, 76 (2003) 543-550.
- [5] Wolszczak P., Szalczyński P., Płaska S.: Chłodzenie narzędzi skrawających, *Mechanik*, 88 (2015) 3CD, 163-170.
- [6] Wstawska I., Ślimak K.: The influence of cooling techniques on surface roughness and tool wear during cryogenic machining, *Arch. Mech. Technol. Automation*, 34 (2014) 51-59.
- [7] Yildiz Y., Nalbant M.: A review of cryogenic cooling in machining processes, *Int. J. Machine Tools Manuf.*, 48 (2008) 947-964.

- [8] Żurawski Ł., Storch B., Zawada-Tomkiewicz A.: Measurement of cutting forces during turning of shaft preliminarily cooled using cryogenic liquid, *Mechanik*, 89 (2016) 1506-1507.

USING CO₂ AS A COOLANT IN TURNING PROCESS

Summary

The use of coolant in machining processes is very important for the cutting process and its result. One of the basic functions that coolant perform in the cutting process is the reduction of the temperature in the cutting zone and increasing of tool life. Due to the fact that oil-based coolants are burdensome for the environment and have limited heat transfer capabilities, other pro-ecological cooling fluids are constantly looking for, mainly gases. Taking this into account, the results of studies on the use of CO₂ liquid as a coolant in the steel turning process are presented in this paper. Components of the cutting force and the temperature in the cutting zone were measured. Turning processes with the use of the CO₂, compressed air and without coolant were compared. As a result of the use of liquid CO₂ as a coolant, a significant reduction in temperature and component cutting forces has been achieved.

Keywords: turning, cooling, CO₂

DOI: 10.7862/rm.2017.37

Otrzymano/received: 12.07.2017

Zaakceptowano/accepted: 27.09.2017