ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1969

Seria: MECHANIKA z. 41 Nr kol. 261

ZBIGNIEW VOGEL

TEMPERATURA SKRAWANIA PRZY WIERCENIU I JEJ ROZKŁAD WZDŁUŻ KRAWĘDZI SKRAWAJĄCYCH WIERTŁA*)

Streszczenie: Przedstawiono wyniki pomiarów temperatury skrawania przy wierceniu stali węglowej 45 i stali austenitycznej kwasoodpornej 1H18N9T. Średnia temperatura skrawania przy wierceniu stali kwasoodpornej jest około 2-krotnie wyższa niż przy wierceniu stali węglowej. Najwyższe temperatury występują w okolicy ścina wiertła i maleją w kierunku jego średnicy zewnętrznej. Wpływ szybkości skrawania na temperaturę jest znacznie większy przy wierceniu stali kwasoodpornej, natomiast wpływ posuwu jest jednakowy przy obu gatunkach stali.

1. Wstęp

Spośród wielu zjawisk towarzyszących procesowi skrawania, temperatura powstająca na skutek wywiązującego się ciepła w strefie tworzenia wióra jest jednym z najważniejszych czynników, określających przede wszystkim przebieg zużycia ostrza narzędzia skrawającego.

Nic więc dziwnego, że od dawna zagadnienie temperatury skrawania, jej rozkładu w strefie skrawania oraz wpływu warunków obróbki na jej wartość zajmuje dużo miejsca w pracach badawczych prowa-

---

x) Artykuł niniejszy stanowi fragment pracy doktorskiej Autora, wykonanej w Katedrze Obróbki Skrawaniem na Wydziale Mechaniczno-Technologicznym Politechniki Śląskiej w Gliwicach. Autor składa serdeczne podziękowanie Kierownikowi Katedry Prof. Jerzemu Szyrajewowi za pomoc przy wykonywaniu pracy.

dzonych na całym świecie. Większość jednak tych prac publikowanych w literaturze technicznej dotyczy toczenia.

Badania temperatur skrawania przy wierceniu, a zwłaszcza ich rozkładu wzdłuż krawędzi skrawających, mogą w znacznym stopniu przyczynić się do wyjaśnienia niektórych zjawisk występujących przy tym bardzo skomplikowanym sposobie obróbki. Dlatego też przedstawiona praca jest próbą naświetlenia zbyt słabo dotychczas rozpracowanych zagadnień temperatury skrawania przy wierceniu.

2. Warunki przeprowadzenia prób

Do badań użyto dwóch gatunków stali, a mianowicie: stali węglowej 45 oraz stali kwasoodpornej 1H18N9T. Oba te gatunki charakteryzują się podobnymi własnościami mechanicznymi ($R_m \approx 60$ kG/mm^2, HB = 165÷170), a jednak jak powszechnie wiadomo, bardzo różnią się pod względem skrawalności. Pierwsza z nich jest dobrze skrawalna, podczas gdy druga, posiadająca strukturę austenityczną, należy do materiałów bardzo źle skrawalnych. Dlatego też określenie temperatur przy wierceniu tych dwu gatunków stali może stanowić cenny materiał porównawczy.

Próby wiercenia przeprowadzono na sucho, przy użyciu wierteł krętych o średnicy 10 mm ze stali szybkotnącej SW7Mo. Pierwszy etap badań dotyczył wyznaczenia średnich temperatur metodą termopary naturalnej. W drugim etapie wyznaczono temperaturę w pobliżu ścina wiertła oraz na narożu krawędzi skrawającej metodą półobcego termoelementu.

W celu określenia wpływu warunków skrawania na temperaturę, próby przeprowadzono przy zmiennej szybkości skrawania w zakresie v = 10÷17 m/min oraz przy zmiennym posuwie w zakresie p = 0,05÷÷0,2 mm/obr.

Pomiarów termoparą naturalną dokonano na wiertarce kadłubowej. Termoparę stanowił materiał obrabiany i wiertło, połączone z przyrządem pomiarowym za pomocą przewodów kompensacyjnych. Pomiary półobcym termoelementem przeprowadzono na tokarce pociągowej, przy czym wiertło zamocowane na suporcie tokarki posiadało tylko ruch posuwowy. Termoparę stanowiło tu wiertło oraz przyspawany do niego w odpowiednim miejscu drut niklowy odizolowany od narzędzia.

Użyte do badań termopary były wzorcowane w pracowni pomiarów temperatury Instytutu Metalurgii Żelaza w Gliwicach.

Wskazania termopar rejestrowano na taśmie kompensatora elektronicznego jednopunktowego o zakresie pomiarowym 0÷15 mV i klasie 0,5.

Wszystkie przedstawione w pracy wyniki są średnią z 3÷5 pomiarów.

3. Wybór metody pomiaru

Najczęściej stosowana w obróbce skrawaniem metoda termopary naturalnej pozwala na określenie jedynie średniej temperatury styku narzędzia z wiórem i materiałem obrabianym. Przy wierceniu, gdzie na skutek zmiennej geometrii ostrza i zmiennej szybkości skrawania wzdłuż krawędzi skrawających zarówno warunki powstawania jak i odprowadzania ciepła są różne, a poza tym powierzchnia styku wióra z narzędziem również się zmienia, należy przypuszczać, że średnia temperatura zmierzona tą metodą znacznie odbiega od temperatury skrawania. Oprócz tego pomiary takie nie dają żadnego poglądu na rozkład temperatury wzdłuż powierzchni roboczych ostrza, co przy wierceniu jest zagadnieniem szczególnie ważnym, a dotychczas jeszcze słabo doświadczalnie rozpracowanym.

Kożewnikow [4] podaje wyniki badań temperatury przy wierceniu stali węglowej metodą termopary obcej, przecinanej krawędzią skrawającą wiertła. Próba zastosowania podobnej metody pomiarowej przy wierceniu stali austenitycznej nie powiodła się, gdyż na sku-

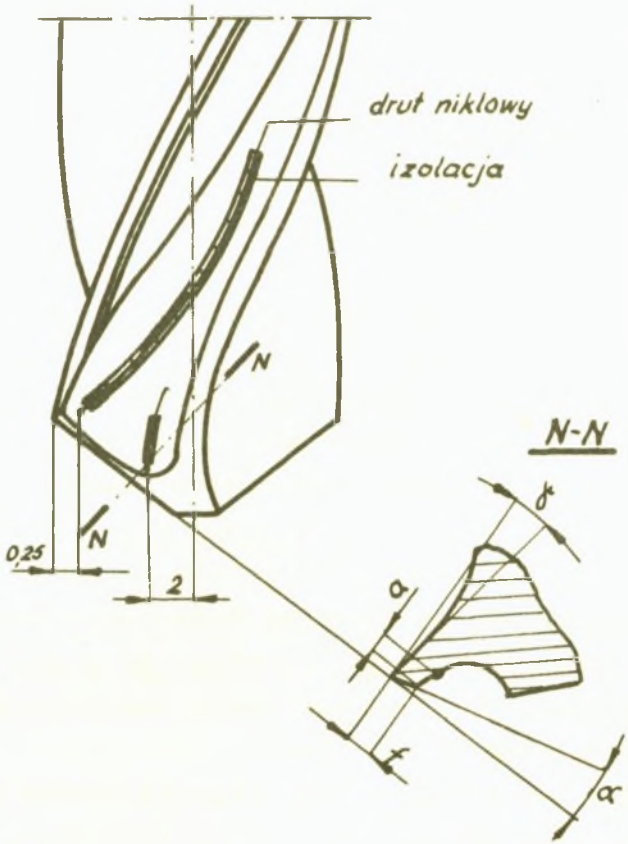
tek dużej ciągliwości materiału skrawanego powstające zadziory powodowały zwarcia, nie pozwalające na prawidłowy przebieg pomiarów.

Stosowano również dla określenia rozkładu temperatur metodę termopary naturalnej przy powiercaniu tulejek o różnych średnicach. Metoda ta, aczkolwiek prosta w zastosowaniu, daje zbyt niskie temperatury w stosunku do rzeczywistych, co udowodniono w dalszej części artykułu.

W związku z tym zdecydowano się na zastosowanie metody półobcego termoelementu i mierzenie temperatury w pewnej określonej odległości od krawędzi skrawającej. Próby wykonania takiej termopary bez naruszenia masy wiertła nie udały się. W związku z tym przeznaczone do prób wiertła podszlifowano od strony powierzchni przyłożenia (rys. 1), pozostawiając fazkę o szerokości $f \approx 0,12$ mm. Tak przygotowanym wiertłem przeprowadzono serię prób metodą termopary naturalnej, przy czym stwierdzono identyczne wyniki jak przy pomiarach normalnym wiertłem.

Wskazuje to na mały wpływ podszlifowania wiertła na średnią temperaturę. Następnie na podszlifowanej powierzchni przyłożenia przyspawano punktowo, jako drugi element termopary, drut niklowy o grubości 0,18 mm, w odległości $a = 0,22 \div 0,27$ mm od krawędzi fazki. Przesunięcia tego rzędu nie wpływały jeszcze w widoczny sposób na wysokość odczytu.

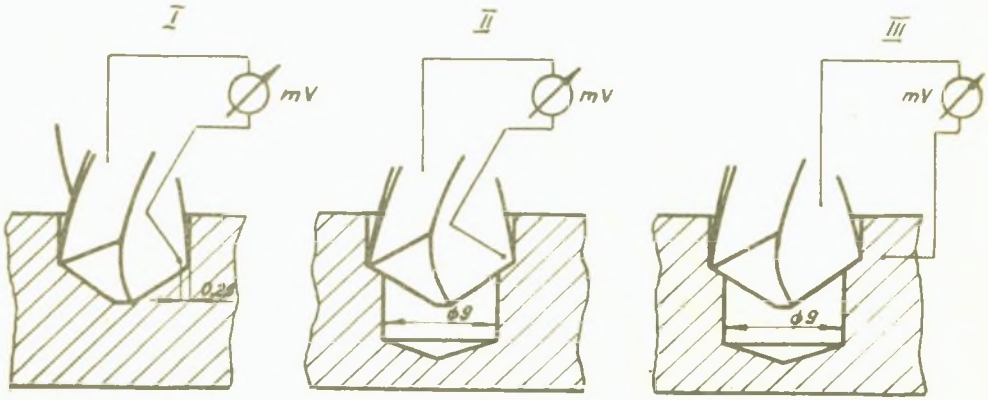
W celu pomiaru temperatury przy narożu spoinę umieszczono w odległości 0,25 mm od naroża. Dla określenia temperatury w pobliżu ścina spoina położona była na promieniu $r = 2$ mm. Ponieważ spoiny nie miały jednakowych wymiarów, przed przystąpieniem do pomiarów sprawdzono obie termopary na punkt wrzenia wody. Stwierdzono przy tym odchyłki rzędu 0,1 mV w stosunku do krzywej wzorcowania, co może dawać błąd około 4%.



Rys. 1. Wiertło do pomiaru temperatury metodą półobcej termopary

Celem porównania wskazań termopary półobcej i naturalnej, jak również w celu oceny wskazań termopary naturalnej przy powiercaniu, dokonano serii pomiarów trzema sposobami, jak to przedstawia rys. 2.

Sposób pierwszy polega na pomiarze temperatury na narożu metodą półobcej termopary przy wierceniu w pełnym materiale. Drugi sposób to pomiar tą samą metodą ale przy powiercaniu, przy czym otwór wstępny ma taką średnicę, aby spoina leżała w środku odcinka krawędzi skrawającej. Wreszcie sposób trzeci to pomiar temperatury przy powiercaniu metodą termopary naturalnej, przy czym otwór wstępny ma tę samą średnicę co w sposobie drugim.



Rys. 2. Schemat sprawdzających pomiarów siły termoelektrycznej

Oznaczając temperatury zmierzone tymi sposobami odpowiednio przez t_I, t_{II} i t_{III} otrzymano w zakresie stosowanych warunków skrawania

$$t_{II} < t_{III} < t_I. \tag{1}$$

Przyjmując jako podstawę pierwszy sposób pomiaru można powiedzieć, że temperatura t_I będzie różna od rzeczywistej temperatury skrawania (t_{rz}) na skutek odsunięcia punktu pomiarowego od miejsca maksymalnej temperatury, co dawać będzie odczyty niższe od rzeczywistych oraz zmniejszenia przekroju ostrza, co powinno powodować wzrost temperatury mierzonej. Można przeto napisać, że

$$t_I = t_{rz} - \Delta t_1 + \Delta t_2, \tag{2}$$

gdzie:

Δ_{t_1} - różnica temperatur na skutek odsunięcia punktu pomiarowego,

Δ_{t_2} - różnica temperatur na skutek zmniejszenia przekroju ostrza.

Temperatura zmierzona sposobem drugim (t_{II}) będzie dodatkowo niższa od rzeczywistej, ponieważ większa ilość ciepła zostanie odprowadzona przez wiertło, czyli

$$t_{II} = t_{rz} - \Delta t_1 + \Delta t_2 - \Delta t_3, \tag{3}$$

gdzie:

Δt_3 - różnica temperatur na skutek odprowadzania ciepła przez wiertło.

Wreszcie przy pomiarze metodą termopary naturalnej temperatura t_{III} będzie niższa od rzeczywistej na skutek odprowadzania ciepła przez wiertło, czyli

$$t_{III} = t_{rz} - \Delta t_3. \tag{4}$$

Wstawiając równanie (4) do równania (3) otrzymamy

$$t_{II} = t_{III} - \Delta t_1 + \Delta t_2. \tag{5}$$

Ponieważ z pomiarów otrzymano $t_{II} < t_{III}$ (równanie (1)), wobec tego z równania (5) wynika, że

$$\Delta t_1 > \Delta t_2.$$

Można zatem powiedzieć, że odsunięcie termopary obcej od krawędzi skrawającej powoduje większy spadek temperatury, niż wynosi jej przyrost na skutek zmniejszenia przekroju wiertła.

Wiadomo, że temperatura zmierzona termoparą półobcą (t_I) jest na pewno niższa od rzeczywistej temperatury skrawania. Ponieważ równocześnie wykazano, że w zakresie stosowanych warunków skrawania $t_I > t_{III}$ (równ. (1)), zatem stosowanie metody termopary naturalnej przy powiercaniu jako oceny rozkładu temperatury wzdłuż ostrza wiertła jest nie do przyjęcia, ponieważ daje temperatury niższe od zmierzonych termoparą półobcą, które z kolei są niższe od temperatur rzeczywistych.

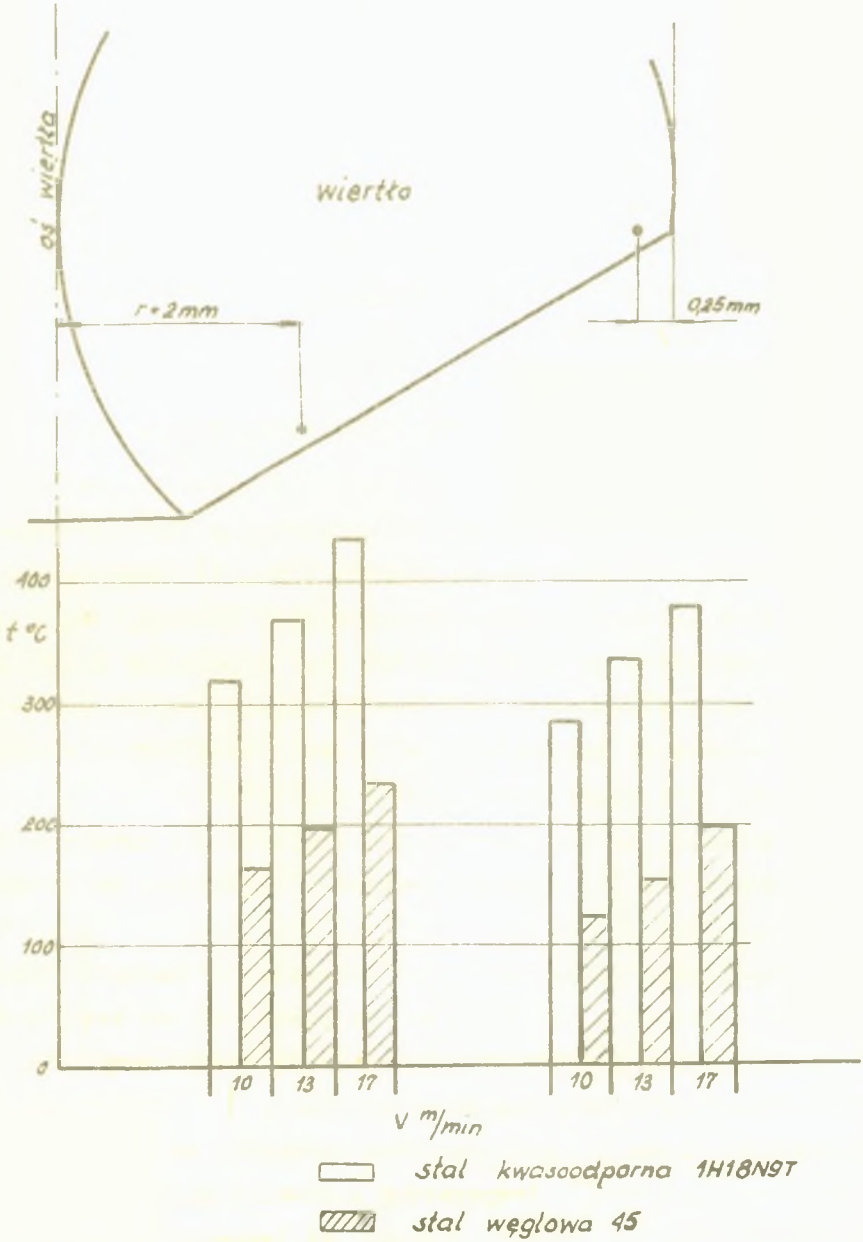
4. Rozkład temperatury wzdłuż powierzchni roboczych ostrza

Na podstawie zestawienia wyników pomiaru temperatury metodą półobcej termopary sporządzono wykres ilustrujący wartość temperatury na narożu oraz przy ścinie wiertła (rys. 3). Okazuje się, że zarówno przy skrawaniu stali austenitycznej 1H18N9T, jak i węglowej 45 temperatura na narożu wiertła jest niższa niż w pobliżu ścina. W zakresie stosowanych warunków skrawania temperatura przy ścinie jest wyższa od temperatury na narożu o około 12% dla stali austenitycznej oraz około 20% dla stali węglowej.

Należy zauważyć, że otrzymane wyniki pomiarów nie potwierdziły wniosków Kożewnikowa [4] odnośnie rozkładu temperatury na ostrzu wiertła.

Mimo parokrotnego spadku szybkości skrawania od naroża w kierunku ścina temperatura nie tylko że nie spada, ale ma tendencję do wzrostu. Jednym z powodów takiego rozkładu temperatury może być wpływ zmiany kąta natarcia na temperaturę.

Badania Danieliana [1] przy toczeniu wykazały, że w zakresie kątów natarcia $\gamma = 0 \div 15^{\circ}$ temperatura skrawania maleje wraz ze wzrostem kąta natarcia. Ponadto wiadomo, że temperatura skrawania przy ujemnych kątach natarcia jest zawsze większa niż przy kątach dodatnich. Biorąc więc pod uwagę dużą zmianę kąta natarcia wzdłuż krawędzi skrawających wiertła (od wartości dodatnich przy narożu



Rys. 3. Rozkład temperatury wzdłuż krawędzi skrawających wiertła

do ujemnych przy ścinie) można przypuszczać, że zmiana ta ma większy wpływ na temperaturę niż zmiana szybkości obwodowej, co potwierdzają również inni autorzy [4].

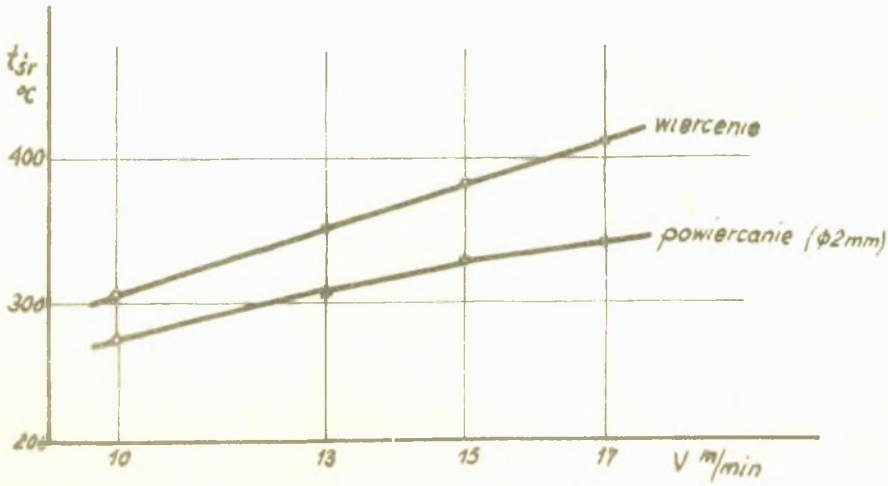
Nie bez znaczenia są tu również warunki wymiany ciepła. Mianowicie w pobliżu naroża istnieją najlepsze warunki odprowadzania ciepła przez materiał skrawany. W miarę zbliżania się do środka wiertła na skutek różnicy temperatur wymiana ciepła między poszczególnymi punktami krawędzi skrawających jest utrudniona, co oczywiście powoduje wzrost temperatury.

Dla potwierdzenia prawidłowości otrzymanych wyników wykonano próbę wiercenia na styku dwóch płytek ze stali badanej, między które wstawiono folię ze stopu cynowo-ołowiowego o grubości 0,08 mm i temperaturze topliwości około 280°C. Po nawierceniu otworu i rozłożeniu płytek otrzymano obraz przedstawiony na rys. 4. Wzdłuż krawędzi skrawających widać pas wytopionego stopu, przy czym warstwa ta wyraźnie rozszerza się w kierunku ścina, co wskazuje zarówno na lepsze warunki odprowadzania ciepła, jak i niższą temperaturę w okolicy naroża wiertła.

Rys. 4. Wytopiona warstwa folii cynowo-ołowiowej na skutek ciepła skrawania

Interesującym byłoby określenie temperatury pod ścinem wiertła. Biorąc pod uwagę otrzymane wyniki rozkładu temperatury wzdłuż krawędzi skrawającej oraz przypuszczalne przyczyny takiego rozkładu należy spodziewać się, że temperatura ścina pomimo niskiej

szybkości skrawania powinna być taka sama, względnie nawet wyższa, jak na krawędziach skrawających [5].



Rys. 5. Wpływ ścina na wysokość średniej temperatury skrawania

Pewien pogląd na tę sprawę może dać porównanie średnich temperatur, zmierzonych termoparą naturalną przy skrawaniu w pełnym materiale oraz przy powierceniu otworu o średnicy równej szerokości ścina (rys. 5). Jak z rysunku tego wynika, średnia temperatura przy wierceniu bez udziału ścina jest niższa od średniej temperatury przy wierceniu w pełnym materiale o 11÷18%.

Ten dość wyraźny spadek temperatury średniej, zwłaszcza dla górnej granicy stosowanych szybkości skrawania, pozwala przypuszczać, że temperatura ścina jest wyższa od średniej temperatury styku wiertła z materiałem obrabianym.

5. Wpływ warunków skrawania na temperaturę

Rysunki 6 i 7 przedstawiają zależność między temperaturą a szybkością skrawania i posuwem przy wierceniu stali kwasoodpornej dla punktów krawędzi skrawających leżących w pobliżu naroża oraz przy ścinie. Na rysunkach 8 i 9 przedstawiono zależność średnich temperatur od warunków skrawania dla wiercenia stali 1H18N9T oraz stali węglowej 45.

Posługując się omawianymi wykresami można wyznaczyć zależności analityczne na temperaturę przy wierceniu w postaci:

$$t = C\, v^{a}\, p^{b}.$$

Dla wiercenia stali austenitycznej 1H18N9T zależności te przyjmą postać:
przy pomiarze termoparą naturalną

$$t_{śr} = C\, v^{0,58}\, p^{0,18},$$

zaś przy pomiarze termoparą półobcą niezależnie od miejsca pomiaru

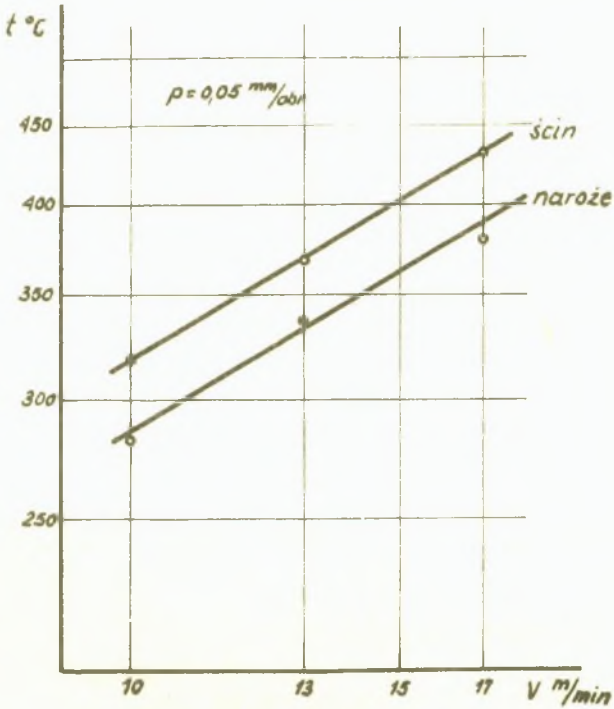
$$t = C\, v^{0,58}\, p^{0,21}.$$

Można więc przyjąć wspólną zależność na temperaturę skrawania stali 1H18N9T

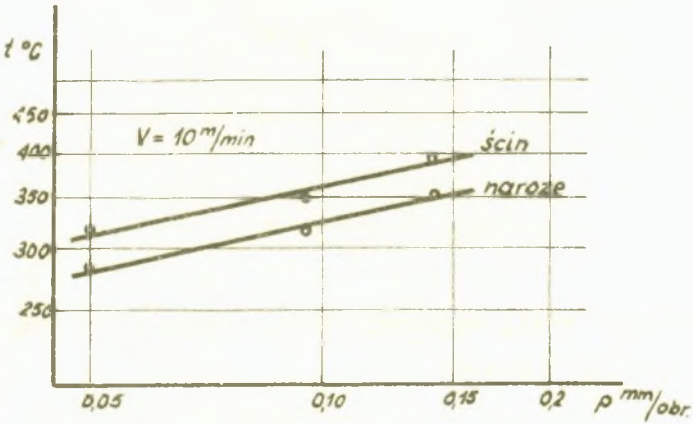
$$t_{s} = C\, v^{0,58}\, p^{0,2}.$$

Dla wiercenia stali węglowej 45 wyznaczona w ten sam sposób zależność przyjmuje postać

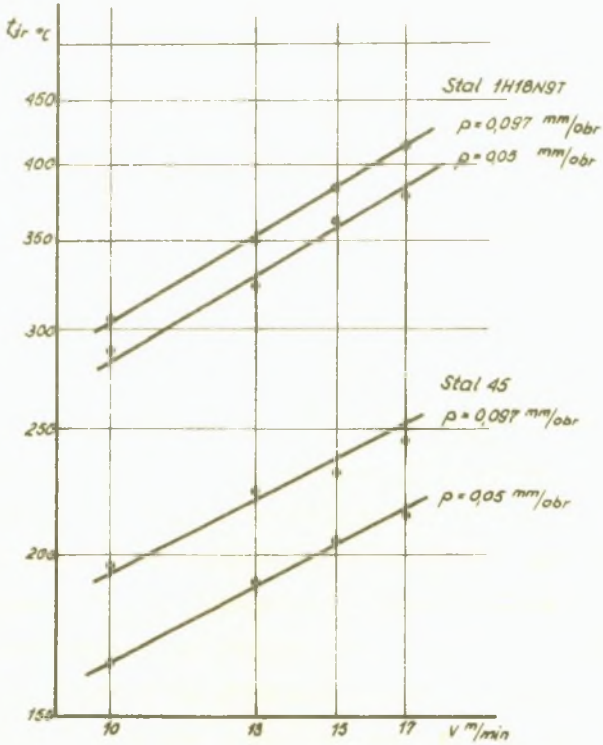
$$t_{s} = C\, v^{0,45}\, p^{0,26}.$$



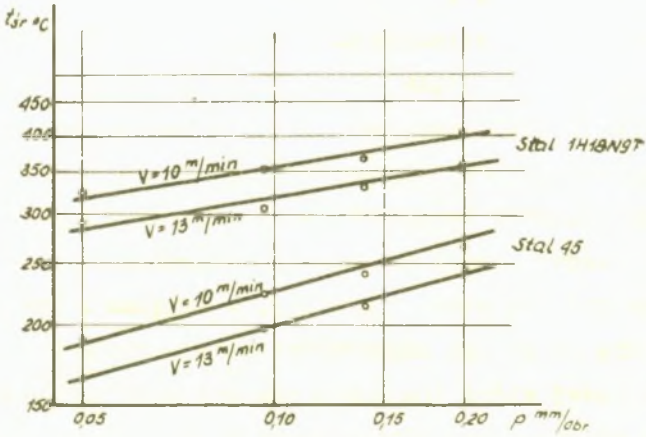
Rys. 6. Wpływ szybkości skrawania na temperaturę w poszczególnych punktach krawędzi skrawającej



Rys. 7. Wpływ posuwu na temperaturę w poszczególnych punktach krawędzi skrawającej



Rys. 8. Wpływ szybkości skrawania na średnią temperaturę mierzoną termoparą naturalną



Rys. 9. Wpływ posuwu na średnią temperaturę mierzoną termoparą naturalną

Danielian [2] podaje podobny wzór wyprowadzony dla wiercenia stali chromowej przy pomiarach termoparą naturalną

$$t_s = C\, v^{0,43}\, p^{0,28}.$$

Natomiast odnośnie stali austenitycznej nie ma materiału porównawczego, gdyż w dostępnej literaturze nie znaleziono badań tego rodzaju.

6. Wnioski

Z przedstawionych wzorów wynika, że szybkość skrawania ma znacznie większy wpływ na temperaturę niż posuw, zarówno przy rozpatrywaniu średnich temperatur styku, jak i temperatur na poszczególnych odcinkach krawędzi skrawających. Porównując przy tym wpływ warunków skrawania na temperaturę przy wierceniu stali austenitycznej i węglowej można zauważyć, że podczas gdy temperatura średnia wraz ze wzrostem szybkości skrawania przy wierceniu stali austenitycznej rośnie bardziej intensywnie niż przy stali węglowej, to wpływ posuwu na wzrost temperatury jest podobny przy wierceniu obu gatunków stali.

Jak wynika z przedstawionego materiału doświadczalnego, przy wierceniu stali austenitycznej temperatury są około 2 razy wyższe niż przy wierceniu stali węglowej dla tych samych warunków skrawania. Podobne wyniki przy toczeniu otrzymali inni autorzy [3][6].

Powodem tak wysokich temperatur przy skrawaniu stali 1H18N9T jest jej niski współczynnik przewodności cieplnej (około trzykrotnie niższy niż dla stali węglowej). W związku z tym ciepło wydzielające się na skutek odkształceń plastycznych w strefie przypowierzchniowej wióra trącego o powierzchnię natarcia tylko w nieznacznym stopniu jest odprowadzane w głąb wióra. Powoduje to intensywny wzrost temperatury stykających się warstw wióra i po-

wierzchni natarcia narzędzia [6]. Przy wierceniu, gdzie warunki odprowadzania ciepła są znacznie utrudnione w stosunku do toczenia, zjawisko to powinno zachodzić jeszcze bardziej wyraźnie, o czym świadczą badania Danieliana [2].

LITERATURA

[1] Danielian A.M.: Tepłota i iznos instrumentow w procesie rezania metałłow, Moskwa, 1954.

[2] Danielian A.M.: Wlianie zatočki swierła na temperaturu i usilje rezania, Wiestnik Mašinostrojenia, 1955, nr 11, str. 48-51.

[3] Feldštejn E.J.: Obrabatywajemost stalej, Moskwa, 1953.

[4] Koženwikow D.W.: Raspredelenie temperatury po režuščim kromkam bystrorežuščich swierł, Stanki i Instrument, 1961, nr 8, str. 20-21.

[5] Rezanie metałłow i instrument. Swierlenie, Moskwa, 1964.

[6] Tašlickij N.I.: O wljani tepłoprowodnosti stali na temperaturu rezania i obrabatywajemost. - Nowyje issledowania w obłasti rezania metałłow, Moskwa, 1948, str. 129-146.

ТЕМПЕРАТУРА РЕЗАНИЯ ПРИ СВЕРЛЕНИИ И ЕЁ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ВДОЛЬ РЕЖУЩИХ КРОМОК СВЕРЛА

Р е з ю м е

Представлено результаты измерений температуры резания во время сверления углеродистой стали 45 и аустенитной нержавеющей (кислотостойкой) стали 1Х18Н9Т. Средняя температура резания при сверлении нержавеющей (кислотостойкой) стали бывает в 2 раза выше, чем во время сверления углеродистой стали. Наиболее высокие температуры возникают около перемычки сверла и уменьшаются в направлении наружного диаметра. Влияние скорости резания на температуру значительно больше при сверлении нержавеющей стали, влияние же подачи одинаково при сверлении обеих марок сталей.

DRILL CUTTING TEMPERATURE AND ITS DISLOCATION ALONG THE CUTTING EDGES OF THE DRILL

S u m m a r y

The article considers the results of cutting temperature measurements when drilling the carbon steel 45 and austenitic stainless steel 1H18N9T. The medium cutting temperature when drilling the stainless steel is about twice as high as when drilling the carbon steel. The highest temperature was spotted in the vicinity of the chisel edge, and was abating gradually towards its external diameter. The cutting speed affects the cutting temperature more when the stainless steel is drilled, while the effect of the feed is equal for both types of steel.