ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1972

Seria: Mechanika z. 49 Nr kol. 358

Zbigniew Affanasowicz
Instytut Budowy Maszyn

ŚREDNIA TEMPERATURA STYKOWA PODCZAS TOCZENIA ŻELIWA UTWARDZONEGO

Streszczenie. Omówiono rolę temperatury na powierzchniach ciał trących w procesie ich zużywania się. Przedstawiono sposób pomiaru średniej temperatury stykowej podczas toczenia żeliwa utwardzonego w szerokim zakresie zmienności parametrów skrawania. Na podstawie otrzymanych wyników, zgładów metalograficznych wióra i jego nasady oraz danych literaturowych określono rząd wielkości najwyższej temperatury panującej na styku wióra z powierzchnią natarcia ostrza.

1. Wstęp

Proces zużywania się każdego ostrza skrawającego jest w swojej istocie procesem złożonym. Jego komponenty są funkcjami wielu czynników, spośród których istotną rolę odgrywa temperatura panująca na powierzchniach trących. Ona to ostatecznie determinuje intensywność elementarnych procesów zużycia, a tym samym intensywność wynikową ich równoczesnego współdziałania. Dzieje się tak dlatego, że zarówno struktura, jak i własności mechaniczne, fizyczne i fizykochemiczne stykających się warstw w dużym stopniu zależą właśnie od temperatury.

T.N. Łoładze [1] używa pojęcia temperatury optymalnej rozumianej jako temperatury, w której intensywność zużycia globalnego jest najmniejsza. Temperatura ta, której wysokość zależy przede wszystkim od materiałów tworzących parę trącą oraz od warunków tarcia zawsze znacznie przewyższa temperaturę pokojową. Celem właściwego wykorzystania jej fizykalnego sensu należałoby ostrze odpowiednio chłodzić, gdy średnia temperatura stykowa jest wyższa od temperatury optymalnej i podgrzewać materiał (a ściślej warstwę skrawaną), gdy temperatura ta jest niższa. Oba te działania miały by na celu sprowadzenie średniej temperatury stykowej do poziomu temperatury optymalnej. Stosowane powszechnie w obróbce skrawaniem chłodzenie nie realizuje tego postulatu.

Podczas skrawania temperatura jest rezultatem zamiany energii mechanicznej odkształceń na powierzchniach trących oraz w warstwie skrawanej na ciepło. Ponieważ rozkład tych odkształceń w wymienionych strefach jest nierównomierny, przeto i rozkład temperatur kształtuje się podobnie. Średnia

temperatura panująca w obrębie styku ostrza z materiałem skrawanym jest średnią temperaturą stykową, której pomiary przy toczeniu żeliwa utwardzonego są przedmiotem niniejszego opracowania.

Proces skrawania żeliwa utwardzonego charakteryzuje szereg cech bardziej typowych dla skrawania stali niż żeliw w ogóle. Można tu wymienić: sposób tępienia się ostrza, formę powstających wiórów zbliżoną do wióra wstęgowego oraz narost na ostrzu. Dwie pierwsze cechy każą przypuszczać, że temperatura na ostrzu będzie wysoka, w związku z czym proces zużywania się ostrza ze spieku będzie w tym przypadku, w swej fizykalnej i fizykochemicznej istocie, bardzo zbliżony do procesu zużywania się ostrza przy skrawaniu stali,

Temperatury stykowe panujące na ostrzu w czasie toczenia żeliwa utwardzonego nie były dotąd mierzone i dlatego obserwuje się brak danych w literaturze dotyczących ich wysokości. Omówiony w artykule sposób pomiaru tej temperatury oraz uzyskane wyniki w jakiejś mierze pogłębiają wiadomości o zjawiskach cieplnych towarzyszących procesowi skrawania.

2. Stanowisko badawcze i materiały użyte do prób

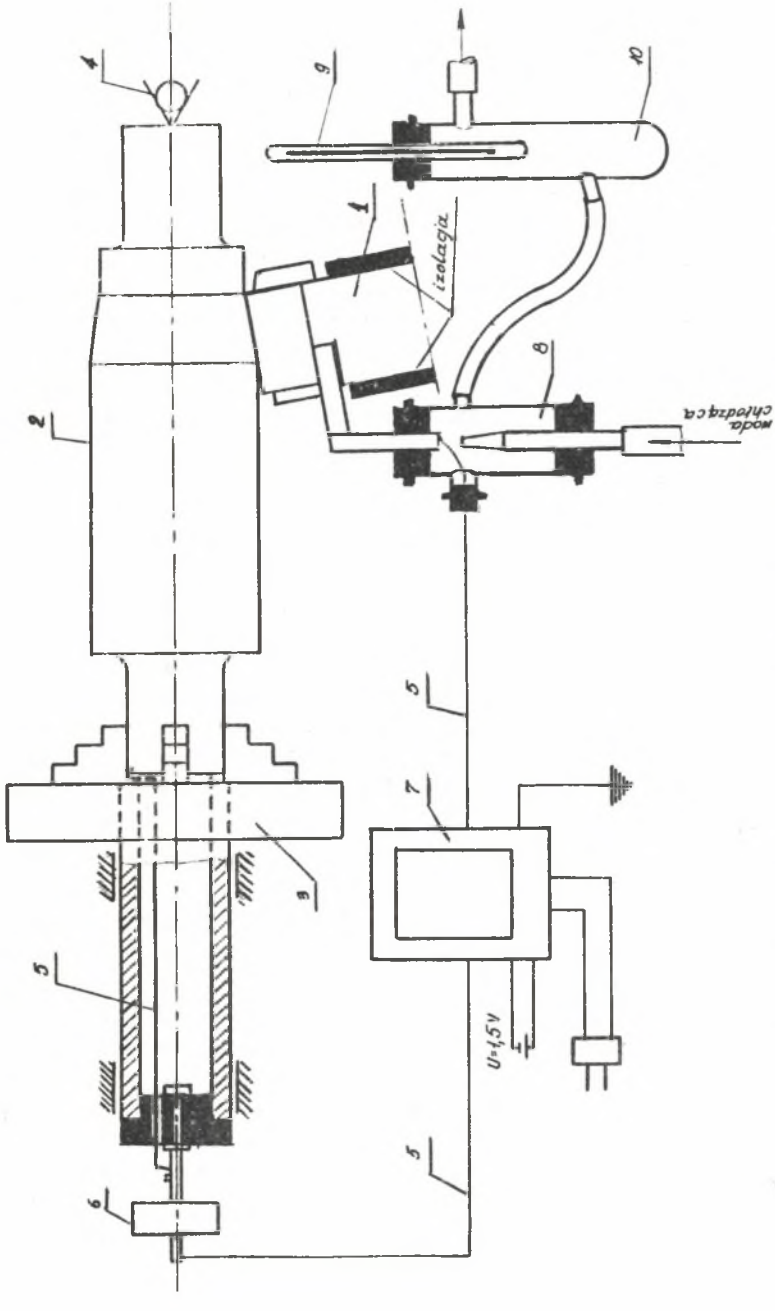
Do wyznaczenia średniej temperatury stykowej, przez pomiar wielkości siły termoelektrycznej (STE) zastosowano metodę termoelementu naturalnego.

Jako materiału skrawanego użyto walca hutniczego z żeliwa utwardzonego o wymiarach beczki oskórowanej Ø 200 x 500 mm. Żeliwo to o zawartości 3,26% węgla oraz niewielkich ilości takich pierwiastków jak: mangan,siarka,fosfor, chrom, nikiel i molibden (0,044÷0,70% każdego z nich),ma w stanie utwardzonym strukturę ledeburytyczną o twardości 470 HB.

Próby skrawania przeprowadzono na tokarce "Magdeburg" z bezstopniową regulacją prędkości obrotowej wrzeciona.

Pomiaru STE dokonano metodą kompensacyjną przy użyciu punktującego kompensatora elektronicznego f-my RFT klasy 0,5, o zakresie pomiarowym od 0 do 15 mV i przy szybkości przesuwu taśmy równej 60 mm/min.Układ tego kompensatora przystosowano do zapisu ciągłego. Przed przystąpieniem do pomiarów kompensator przewzorcowano przy pomocy mostka f-my Cambridge klasy 0,2.

Schemat układu, przy pomocy którego mierzono STE, przedstawiono na rysunku 1. Termoelement pomiarowy zbudowany jest z płytki ze spieku H10 zamocowanej w specjalnej oprawce nożowej (1) oraz materiału skrawanego w postaci walca (2). Oprawka nożowa (1), od której zarówno ostrza jak i wystający na zewnątrz słupek ze spieku odizolowano miką dla wyeliminowania możliwości powstania dodatkowych źródeł STE, jest zamocowana w imaku nożowym tokarki. Celem przerwania obwodu elektrycznego: przedmiot - narzędzie - obrabiarka - przedmiot, trzonek oprawki obłożono materiałem izolacyjnym. Koniec wystającego z oprawki słupka połączono przewodem (5) z kompensatorem (7). Ponieważ koniec tego słupka jest jednym z zimnych końców termo-



Rys. 1. Schemat układu do pomiaru średniej temperatury stykowej

1 - nóż oprawkowy z płytką ze spieku H10, 2 - materiał skrawany, 3 - tarcza szczękowa, 4 - kieł obrotowy, 5 - przewody kompensacyjne, 6 - szczotka rtęciowa, 7 - kompensator elektroniczny, 8 - układ chłodzący, 9 - termometr rtęciowy, 10 - baniczka przepływowa

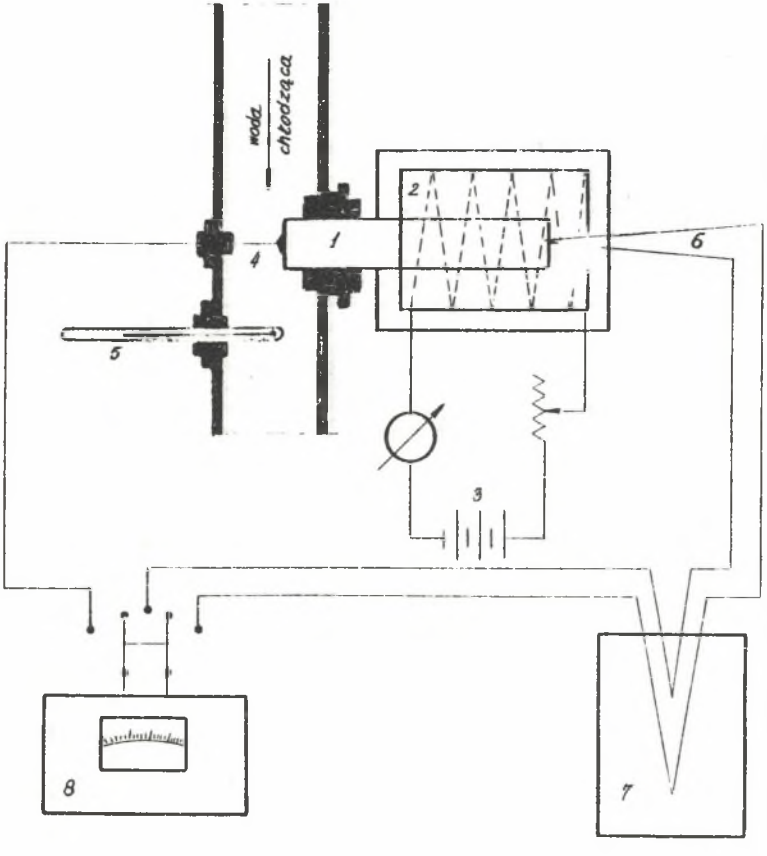
elementu spiek - żeliwo utwardzone, przeto chłodzono go wodą przy pomocy układu chłodzącego (8). Temperaturę odpływającej wody mierzono termometrem rtęciowym (9) z dokładnością ± 0,5°K, umieszczonym w przepływowej baniecze (10).

Materiał skrawany w postaci walca (2) zamocowano w uchwycie szczękowym (3) oraz podparto kłem obrotowym (4). Czop walca, znajdujący się w uchwycie szczękowym, a będący drugim zimnym końcem termoelementu połączono izolowanym przewodem (5) poprzez szczotkę rtęciową (6) z kompensatorem elektronicznym (7). Ponieważ w czasie pomiarów wstępnych stwierdzono, że temperatura czopa była równa temperaturze otoczenia, tj. ~291°K, w związku z czym nie zachodziła konieczność jego chłodzenia. Szczotkę rtęciową (6) przymocowano do bakelitowego korka osadzonego ciasno we wrzecionie tokarki. Odizolowanie szczotki od obrabiarki wyeliminowało możliwość wywierania wpływu na pomiar ze strony ruchomych elementów tokarki, które brane parami mogły być źródłem niewielkich STE.

3. Wzorcowanie termoelementu: spiek H10 - żeliwo utwardzone

Wzorcowanie tego termoelementu przeprowadzono na stanowisku, którego schemat przedstawiono na rysunku 2. Części składowe termoelementu wykonano w formie słupków o przekroju 6 x 6 mm. Każdy z jego elementów wzorcowano oddzielnie względem termoelementu wzorcowego PtRh - Pt o znanej krzywej wzorcowania. Końcowe wyniki wzorcowania termoelementu: spiek H10 - żeliwo utwardzone uzyskano przez sumowanie STE odniesionych do tej samej części termoelementu wzorcowego. Jeden koniec wzorcowanego pręta (1) grzano w specjalnie zbudowanym oporowym piecyku elektrycznym (2) zasilanym z układu (3), natomiast drugi chłodzono bieżącą wodą przy pomocy układu chłodzącego (4). Temperaturę gorącego końca mierzono metodą kompensacyjną przy pomocy termoelementu wzorcowego PtRh - Pt (6), połączonego poprzez termostat (7) z mostkiem f-my Cambridge klasy 0,2 (8). Układ ten pozwala na określenie STE z dokładnością 0,01 mV. Temperaturę wody mierzono termometrem rtęciowym (5) z dokładnością ± 0,5°K. Samo wzorcowanie polegało na grzaniu gorącego końca słupka ze spieku lub żeliwa do określonych temperatur mierzonych przy pomocy termoelementu wzorcowego PtRh - Pt i wyznaczeniu STE w obwodach spiek H10-PtRh, spiek H10-Pt oraz żeliwo - PtRh, żeliwo - Pt. Metoda wzorcowania każdej części termoelementu oddzielnie pozwala na równoczesną kontrolę wyników pomiarów, gdyż w każdej temperaturze STE w układach spiek H10-PtRh-Pt-spiek H10 oraz żeliwo-PtRh-Pt-żeliwo muszą się zerować.

Końcowe wyniki wzorcowania uzyskano, jak już wspomniano przez sumowanie: STE żeliwo - PtRh+STE spiek H10 - PtRh lub STE żeliwo - Pt+STE spiek H10 - Pt. Jeżeli wzorcowanie było przeprowadzone poprawnie, wówczas obie



Rys. 2. Schemat stanowiska do wzorcowania termoelementu spiek H10 - żeliwo utwardzone (projektu inż. Cz. Matysika z IMŻ w Gliwicach)

1 - wzorcowany pręt ze spieku H10 lub żeliwa utwardzonego, 2 - piec oporowy, 3 - układ zasilania pieca oporowego, 4 - układ chłodzący, 5 - termometr rtęciowy, 6 - termoelement wzorcowy PtRh-Pt, 7 - termostat $\Theta = 293^{o}K$, 8 - mostek wzorcowniczy f-my Cambridge kl. 0,2

sumy w tych samych temperaturach muszą być równe, a tym samym przedstawiające je krzywe muszą się pokryć.

Krzywą wzorcowania wyznaczono dla zakresu temperatur od 293°K do 973°K, gdyż powyżej tej temperatury występujące utlenianie się spieku, powoduje zakłócenia w jej przebiegu. Dla temperatur wyższych od 973°K krzywą wzorcowania przedłużono na drodze ekstrapolacji.

4. Pomiary STE i ich wyniki

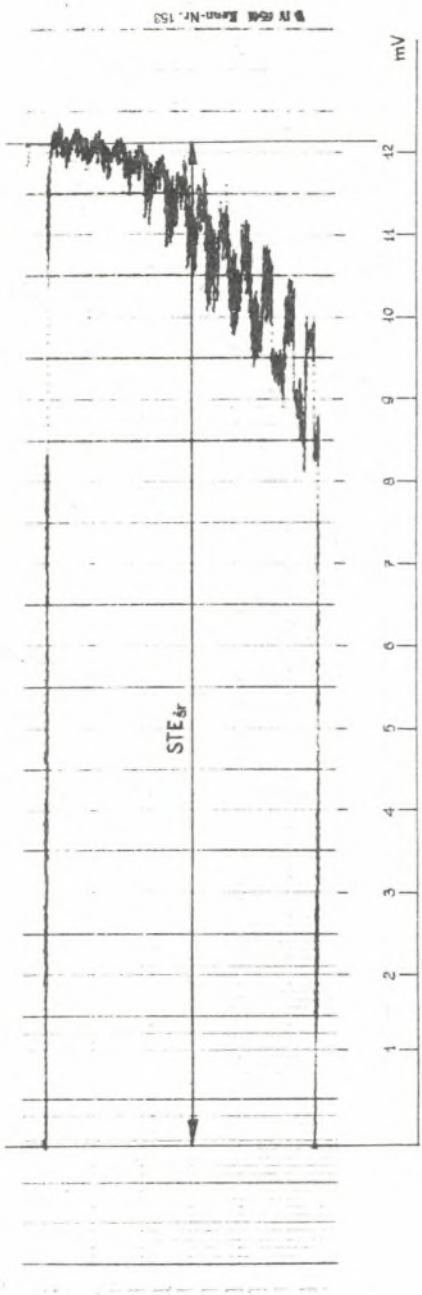
Pomiarów STE dokonano podczas skrawania żeliwa utwardzonego ostrzem ze spieku H10 przy szerokim zakresie zmienności parametrów skrawania. Geometria tego ostrza była optymalna, z punktu widzenia intensywności zużycia, zarówno na powierzchni przyłożenia, jak i na powierzchni natarcia.

Geometria ostrza	$\alpha = 5^\circ$; $\gamma = 0^\circ$; $\varkappa = 10^\circ$ $\lambda = 10^\circ$; $r = 2$ mm	
Parametry skrawania		
v [m/sek]	g [mm]	p [mm/obr]
0,127÷0,260	1÷4	0,70÷1,80

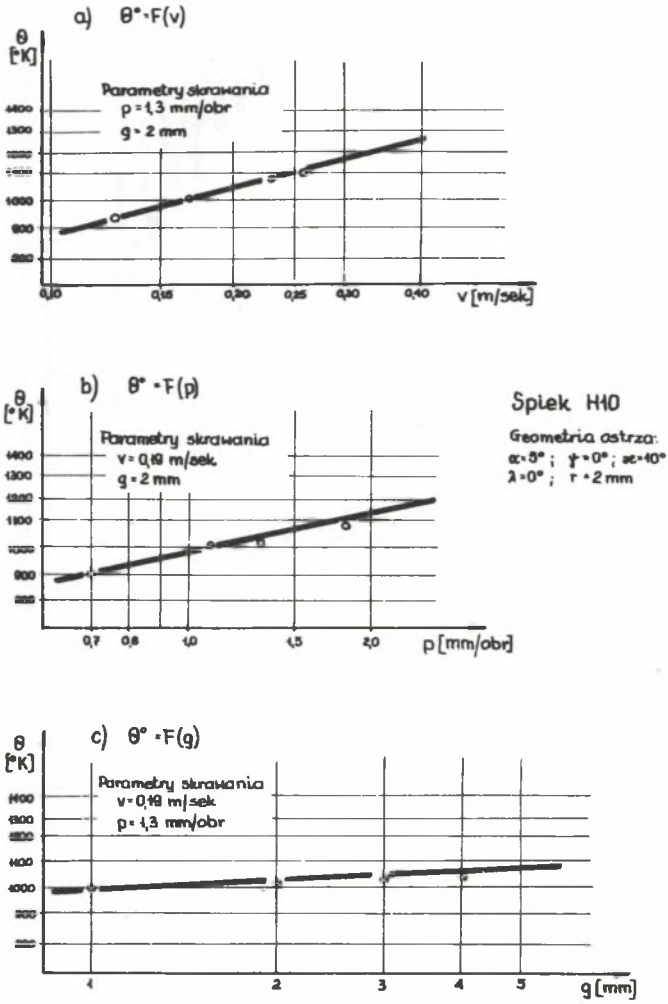
Każdy pomiar STE powtarzano 3 do 4 razy, po czym wyznaczono średnią jej wartość, dla której na podstawie krzywej wzorcowania określono średnią temperaturę stykową. Z otrzymanych na kompensatorze elektronicznym zapisów wynika, że w zależności od parametrów skrawania średnia temperatura na powierzchni styku ostrza z materiałem skrawanym ustala się w ciągu 15 do 40 sekund. Ustalenie to polega na tym, że od pewnej chwili przebieg linii zapisu oscyluje między dwoma stałymi wartościami granicznymi. W zależności od parametrów skrawania oscylacja ta zamyka się w polu o szerokości odpowiadającej 0,2 do 0,8 mV. Średnią temperaturę stykową ustalono dla średniego odczytu STE z krzywej zapisu w jej "ustalonej" części (rys. 3).

Celem zlokalizowania pomiaru możliwie tylko do powierzchni styku wióra z płaską powierzchnią natarcia próby skrawania przeprowadzono ostrzem nie wykazującym stępienia ani od strony powierzchni przyłożenia ani natarcia. Końcowe wyniki pomiarów średniej temperatury stykowej przedstawiono graficznie w skali podwójnie logarytmicznej na wykresach 4a,b i c. Na ich podstawie ustalono wzór na średnią temperaturę stykową przy toczeniu żeliwa utwardzonego ostrzami ze spieku H10 przy kącie przystawienia $\varkappa = 10^\circ$ w postaci:

$$\theta = C_\theta \cdot v^{0,26} \cdot g^{0,07} \cdot p^{0,18} \quad (^\circ K).$$



Rys. 3. Przykład krzywej zapisu dla jednego pomiaru $STE_{śr}$



Rys. 4. Wpływ parametrów skrawania na wielkość średniej temperatury stykowej

Z zależności tej wynika, że największy wpływ na średnią temperaturę stykową wywiera szybkość skrawania, potem posuw, a wreszcie głębokość. Brak odpowiednich danych w literaturze uniemożliwia w zasadzie dokonanie adekwatnych porównań otrzymanej zależności. Można natomiast dokonać bardzo ogólnego jej porównania ze wzorem podanym przez M.J. Kłuszyna [2] dla skrawania nie określonego bliżej żeliwa ostrzami ze stali szybkotnącej:

$$\Theta = C_{\Theta} \cdot v^{0,26} \cdot g^{0,09} \cdot p^{0,133} \quad (^{o}K).$$

Można przyjąć, że wzór ten odnosi się do jakiegoś gatunku żeliwa szarego lub też całej grupy tych żeliw, gdyż one właśnie są najczęściej przedmiotem badań z uwagi na powszechność zastosowania w budowie maszyn.

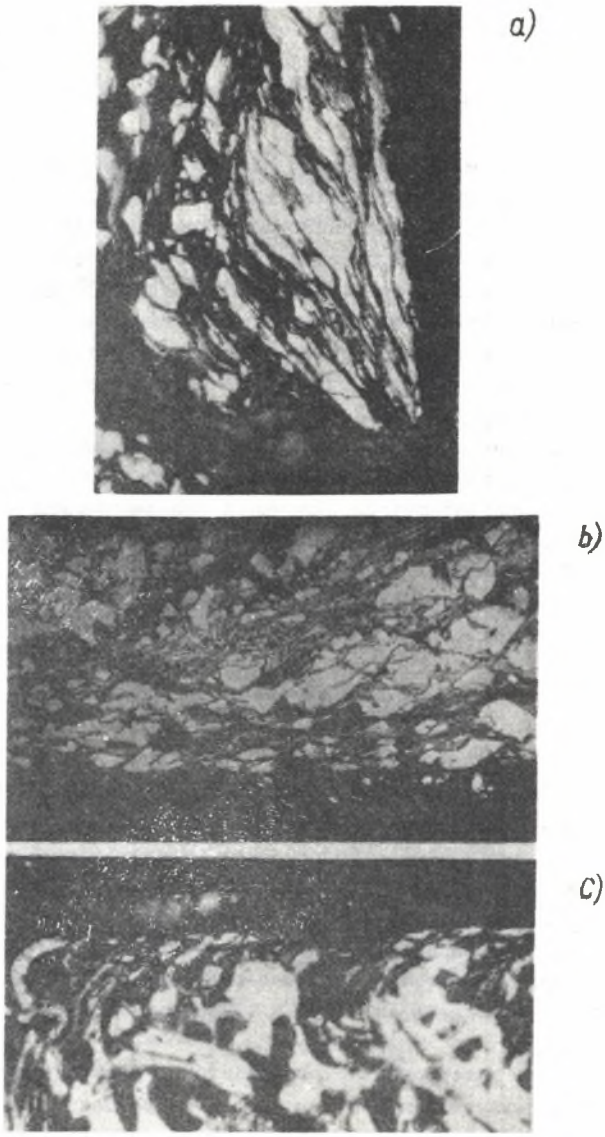
Z porównania obu wzorów wynika, że wykładniki potęgowe przy poszczególnych parametrach skrawania są bardzo do siebie zbliżone co świadczy o tym, że wpływ tych parametrów na temperaturę stykową jest w obu przypadkach podobny. Przy tych samych zatem parametrach skrawania o temperaturze tej zadecyduje wielkość stałej C_{Θ}, która charakteryzuje zarówno własności materiału skrawanego, jak i materiału ostrza.

Z przeprowadzonych pomiarów wynika, że średnie temperatury stykowe, jakie panowały na ostrzu, a ściśle na powierzchni styku ostrza z wiórem w zakresie stosowanych parametrów skrawania wahają się w granicach 900 do 1120°K. Ponieważ przy praktycznie stosowanych posuwach: p = 0,70 do 2,00 mm/obr i głębokościach g = 2 do 4 mm ekonomiczne szybkości skrawania zamkną się w granicach 0,084 do 0,166 m/sek, przeto średnie temperatury stykowe osiągną wartości leżące w granicach 873 do 1100°K.

5. Wnioski

Średnie temperatury stykowe podczas skrawania żeliwa utwardzonego są wysokie i osiągają rząd tych, jakie panują na ostrzu ze spiekanych węglików w czasie skrawania stali. Temperatury najwyższe na powierzchni styku ostrza z wiórem są oczywiście wyższe od mierzonych temperatur średnich. I tak Łoładze [1] ocenia, że różnice temperatur w różnych punktach tej powierzchni styku wynoszą przy małych posuwach 100 do 200°K. Inne źródła podają, że najwyższe temperatury stykowe przy skrawaniu stali ostrzami z spiekanych węglików osiągają ok. 1573°K [3], ok. 1553°K [4] względnie 1573 do 1598°K [5].

Kojarząc wyniki przeprowadzonych pomiarów z przytoczanymi poglądami można ocenić, że najwyższe temperatury na ostrzu podczas toczenia żeliwa utwardzonego osiągają 1100 do 1300°K. Tak więc warunki cieplne na ostrzu są w tym przypadku zdecydowanie zbliżone do tych, jakie panują podczas skrawania stali ostrzami z węglików spiekanych.



Rys. 5. Struktura

a) narostu, b) przynarzędziowej warstwy wióra oraz c) warstwy wierzchniej powierzchni obrobionej (pow. 500 x)

Realność tak wysokich temperatur potwierdzają przeprowadzone badania metalograficzne nasady wióra. Wynika z nich, że ziarna cementytu znajdujące się w naroście, przynarzędziowej warstwie wióra, a nawet w warstwie wierzchniej powierzchni obrobionej są wydłużone, a więc odkształcone plastycznie (rys. 5).

Badania własności mechanicznych cementytu wykazały, że w temperaturze około 1130°K staje się on ciałem plastycznie odkształcalnym [6]. Obecność zatem w strukturze wióra czy też narostu plastycznie odkształconych ziaren cementytu może w tym przypadku być wskazówką czy najwyższa temperatura na ostrzu przekroczyła 1130°K, czy też nie. Jest to bardzo istotne dla interpretacji procesu zużycia, albowiem w pobliżu temperatury 1173°K zaczyna się proces dwukierunkowej dyfuzji między materiałem ostrza a materiałem skrawanym w wyniku czego na powierzchni natarcia ostrza formuje się żłobek.

Tak wysokie temperatury zarówno średnie, jak i najwyższe pozwalają interpretować tworzący się wiór jako wstęgowy, przynajmniej w jego przynarzędziowej warstwie.

Stwierdzono, że w miarę upływu czasu pracy ostrza, a tym samym powiększania się wymiarów żłobka na powierzchni natarcia, nasada wióra stawała się coraz bardziej czerwona, a poszczególne jego odcinki coraz dłuższe. Wskazywałoby to w tym przypadku na stopniowy wzrost temperatury w miejscu styku wióra z ostrzem.

LITERATURA

1. T.N. Łoładze - Iznos rieżuszczego instrumienta, Maszgiz, Moskwa, 1958.
2. M.J. Kłuszyn - Riezanije mietałłow, Maszgiz, Moskwa, 1953.
3. A.A. Awakow - Fiziczeskije osnowy tierorii stojkosti rieżuszczich instrumientow, Maszgiz, Moskwa 1960.
4. H. Opitz, E. Schaller - Ekspress informacja "Riesuszczije instrumenty" 1966, nr 41, 1-72.
5. E.M. Trent - Machinery, v. 79, 1951, 823-828 i 965-969.
6. W. Jellinghaus - Archiv für Eisenhüttenwesen v. 37, 1966, 2, 181-192.

УСРЕДНЁННАЯ КОНТАКТНАЯ ТЕМПЕРАТУРА
ПРИ ТОЧЕНИИ ОТБЕЛЁННОГО ЧУГУНА

Р е з ю м е

Описывается роль температуры на поверхности трущихся тел в процессе их износа. Представлен способ измерения усреднённой контактной температуры при точении отбелённого чугуна в обширном диапазоне изменяемости режимов резания. На основании полученных результатов, металлографических шлифов стружки и её корня и на основании литературных данных был определён ряд значений максимальной температуры царствующей на стыке стружки с поверхностью передней грани резца.

THE MEAN CONTACT TEMPERATURE DURIGN THE TURNING OF HARDENED
CHILLED - IRON

S u m m a r y

The paper discusses the consequence of temperature on the surface of bodies exposed to friction in the process of wearing down. There has been represented a way of measuring the mean contact temperature during the turning of hardened chilled-iron in a vast range of variability of the machining parameters. Basing on the obtained results, as well as on metallographic microsections of a chip and its root, and also on data taken from literature, it has been possible to determine the magnitude of the highest temperature occuring at the contact point of the chip with the rubbing surface of the tool - point (blade).