

OPRACOWANIE I WYKORZYSTANIE STALIW STOPOWYCH TYPU Cr-Mo-V-Cu-Ni NA ELEMENTY UZBROJENIA

W artykule przedstawiono wyniki badań nad opracowaniem staliw stopowych do pracy w trudnych warunkach eksploatacyjnych przeznaczonych na elementy uzbrojenia. Omówiono wpływ Cr, Mo i V na wielkość zużycia ściernego staliwa typu Cr-Mo-V-Cu-Ni.

1. Wstęp

Obserwując, a także biorąc czynny udział w unowocześnianiu wyposażenia naszej Armii zauważamy nagłą konieczność przejścia na nowy sposób myślenia o uzbrojeniu.

W sposób szczególny potwierdzają to czołowi politycy i wypowiedane na ich zamówienie przez inne jednostki stwierdzenia podkreślające, że dotychczas w ich oczach nie posiadamy armii zdolnej do samodzielnego istnienia, lecz zbieraninę wyposażoną w jednorazowe, efektowne – nie mylić z efektywne – uzbrojenie.

Nie zgadzamy się z wyżej przytoczonymi określeniami.

Jednak wyciągając z nich wnioski należy określić, dlaczego politycy tak oceniają naszą Armię.

Uważamy, że u podstaw stoi, niestety, mizéria wyposażenia Armii – ciągle wyciąganie ręki po jałmużnę, demobil z sojusznicznych armii – patrz sprzęt w Iraku, czołgi w Świętochłowicach, itd. Przez co jesteśmy postrzegani jako żebracy, których jedyną zaletą może być tak przez polityków podkreślana i wychwalana „lojalność” wobec silniejszych i bogatszych; żebracy uzbrojeni w przestarzały sprzęt z demobilu.

Naszym zdaniem jedynym wyjściem z opisanej sytuacji jest podjęcie dwu działań:

- a) politycznych - zaprzestanie stosowania postawy „chłopca do bicia”; Nie tylko armia ma konstytucyjnie wypełniać widzimisię polityków, ale i politycy muszą liczyć się z pilnymi potrzebami armii.
- b) zmiana podejścia do wyposażenia armii, zakupów tylko nowoczesnego sprzętu w ilościach koniecznych do obrony w obecnej sytuacji politycznej.

Klasyczne uzbrojenie – ze względu na niski poziom informatyzacji jest praktycznie odporne na zużycie moralne i techniczne przy długotrwałym składowaniu na wypadek W.

Koniecznym jest nowe podejście do uzbrojenia klasycznego.

Postęp w budowie broni lufowej jest nieustający jednak nie zmienia to faktu, że dobrze wykonany karabin z przed II wojny miał zbliżone wyniki strzelania w porównaniu do współczesnego produktu. Dlatego istnieje konieczność i możliwość produkcji w naszym kraju wysokiej klasy pod względem mechanicznym uzbrojenia strzeleckiego jak i sprzętu ciężkiego (np. czołgi itp.). Wyposażenie elektroniczne tego sprzętu – modułowe – powinno podlegać systematycznej wymianie.

Zaś sam sprzęt należy podzielić na dwie kategorie: bojowy i paradny.

Obecnie przez kilka lat wskazówka miernika zakupów sprzętu wskazuje uporczywie na pole „paradny” tzn. lekki, kabury nie obciążający, plastikowy, „przyjazny dla środowiska” przez „naturalny” rozpad tworzywa w kontakcie z olejem, pomijamy nagminny rozpad po wysunięciu z kabury w kontakcie z podłożem, o doskonałym wyglądzie bojowym, do użytku bojowego niewskazany ze względu na zacięcia i ogromną ilość drobnych części...

Nie chcemy tym samym stwierdzić, że taki sprzęt w czasie pokoju jest niepotrzebny, wręcz przeciwnie, pistolet oficerski ma wymuszać posłuszeństwo, czyli działać z małej odległości – wręcz z przystawienia – i jak wspomniano w czasie pokoju nie zabijać, lecz ranić niesubordynowanych podwładnych, – czyli kaliber 9Para to za dużo, a przez to ciężko i niewygodnie. Lekki pistolet o małej mocy rażenia będzie łatwiejszy w codziennej pokojowej służbie oficerskiej a występujące zacięcia – jak w dotychczasowych „plastikach” – możliwe, że tylko pomogą uniknąć wizyty w sądach....

Jednak prawdziwy bojowy sprzęt musi być niezawodny, trwały i skuteczny.

Tym sposobem dochodzimy do podstawowego tematu niniejszego artykułu – staliwom stopowym. Staliwo stopowe początkowo niezbyt chętnie stosowane w lekkim sprzęcie uzbrojenia przekonało do siebie konstruktorów (np. pistolet MAG-95) i technologów (np. części do rodziny karabinków AK i ich pochodnych).

Istotną zaletą elementów broni ze staliw jest to, że są wytwarzane technologią odlewania. Dzięki czemu oszczędzamy znaczną ilość energii, czasu i pieniędzy!

Zastosowanie staliwa było ograniczone jego właściwościami eksploatacyjnymi a głównie technologicznymi – procesy płynięcia oraz krzepnięcia metalu w formie były kłopotliwe do przewidzenia a za tym do projektowania. Dziś częściowo pokonano barierę technologiczną, w tyle pozostały badania nad składami staliw o odpowiednich właściwościach eksploatacyjnych, dzięki którym możemy można będzie stworzyć bojowy sprzęt skuteczny, niezawodny i stosunkowo lekki jednocześnie odporny na długotrwałe składowanie.

Część wyników badań nad staliwem stopowym typu Cr-Mo-V-Cu-Ni przedstawiono w tym artykule.

Są to staliwa powstałe na drodze poszukiwań materiałów odpornych na zużycie w ciężkich warunkach eksploatacyjnych w tym odpornych na wysokie temperatury, ścieranie i korozję chemiczną. Prace były prowadzone przez zespół pracowników w Instytucie Budowy Maszyn Politechniki Radomskiej.

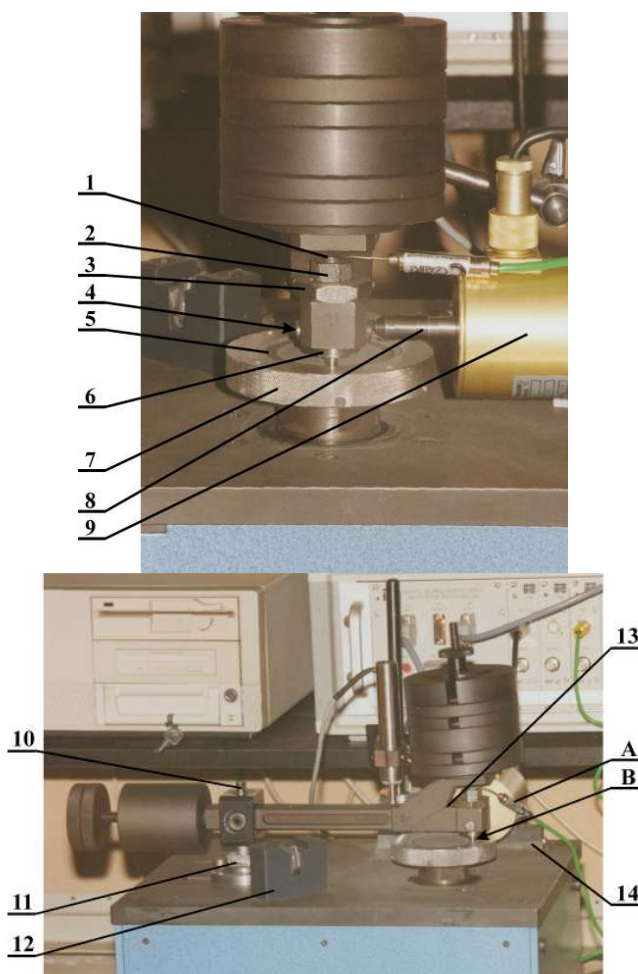
2. Cel badań

Celem eksperymentu było wyznaczenie odporności na zużycie staliw stopowych typu Cr-Mo-V-Cu-Ni w warunkach ścierania drobnym ścierniwem, w funkcji zawartości Cr, Mo i V.

3. Metoda badań i wyniki pomiarów

Dla osiągnięcia postawionego celu wybrano metodę ścierania na sucho na papierze ściernym.

W pracy wykorzystano stanowisko do badań tribologicznych T-01M poddane adaptacji. Zmianom poddano zespoły: mocowania próbki, przeciwpróbki, ramienia i pomiaru siły ścierania (rys.1).



Rys. 1. Tester T-01M. Zaznaczono elementy poddane adaptacji przez autora: 1 - uchwyt próbki; 2 – nakrętka mocowania uchwytu próbki; 3 - nakrętka mocowania oprawy uchwytu próbki; 4 – element prowadząco-ustalający oprawę uchwytu; 5 – przeciwpróbka; 6 – oprawa uchwytu próbki; 7 – nakrętka mocująco-ustalająca przeciwpróbki; 8 – trzpień siłomierza; 9 – siłomierz; 10 – oś ramienia; 11 – układ regulacji położenia ramienia; 12 – wspornik; 13 tłumik drgań obciążników; 14 – podstawa siłomierza. Termoelement A przeprowadzono przez otwory uchwytu próbki, B – końcówka pomiarowa termoelementu [1]

Parametry: prędkość przeciwpróbki względem próbki 1,0 m/s, droga pokonywana w czasie jednej próby (500 m) oraz obciążenie próbki 39,24N, zostały dobrane eksperymentalnie jako maksymalne, pozwalające na uzyskanie liniowego przebiegu ubytku próbki w funkcji drogi (czasu) tarcia. Łączna droga tarcia dla każdej próbki wynosiła $3 \times 500 = 1500$ m.

Przeciwpróbki wykonano w formie tarcz pokrytych jednostronnie papierem ściernym „P400A PS11 Auto-Paper Wasserfest” firmy Klingspor.

Próbki zostały odlane technologią wytapianych modeli ze staliw o zmiennym składzie chemicznym zgodnym z planem eksperymentu (tabela 1). Skład chemiczny jest chroniony zgłoszonymi zastrzeżeniami patentowymi.

Próbki obrobiono cieplnie w kolejności: 1103K/3h chłodzenie z piecem, 1348K/30min chłodzenie w oleju, 1058K/20min.

Wyniki pomiarów przedstawiono w tabeli 1 oraz rysunku 2.

Tabela 1. Wyniki pomiarów twardości HRC, HV0,02 oraz wartości średniego ściernego ubytku masy próbek po pokonaniu drogi tarcia 3x500 = 1500 m, próbki obrabiane cieplnie

Wytop nr	Skład wg zmiennych kodowych			Twardość po obróbce cieplnej			Ubytek masy [g]
	X ₁	X ₂	X ₃	HRC	Dendryty HV0,02 MPa	Przestrzenie międzydendrytyczne HV0,02 MPa	
1	-1	-1	-1	53,8	540	697	0,04785
2	+1	-1	-1	49,7	277	619	0,38555
3	-1	+1	-1	52,7	547	747	0,07310
4	+1	+1	-1	49,5	287	669	0,29510
5	-1	-1	+1	53,8	370	669	0,05885
6	+1	-1	+1	42,5	293	522	0,27496
7	-1	+1	+1	47,0	313	599	0,08030
8	+1	+1	+1	43,0	300	620	0,30200
9	-1,682	0	0	60,7	853	853	0,03275
10	+1,682	0	0	51,7	597	283	0,43415
11	0	-1,682	0	44,7	284	634	0,19030
12	0	+1,682	0	47,3	311	783	0,15605
13	0	0	-1,682	48,0	355	805	0,17455
14	0	0	+1,682	38,2	302	571	0,29385
15	0	0	0	46,5	366	718	0,16235
16	0	0	0	45,5	339	706	0,16455
17	0	0	0	46,7	319	750	0,15406
18	0	0	0	45,7	326	759	0,14545
19	0	0	0	46,3	341	739	0,16495
20	0	0	0	45,7	345	835	0,14130

gdzie: X₁;X₂;X₃- kodowa zawartość odpowiednio Cr, Mo i V.

Jak przedstawiono na rysunku 2 przebieg przemieszczenia dzwigni uchwytu próbki, w trakcie całego cyklu pomiarowego, miał charakter zbliżony do liniowego co świadczy o równomiernym zużyciu pary próbka przeciwpróbka.

Wyniki pomiarów poddano obróbce statystycznej [2].

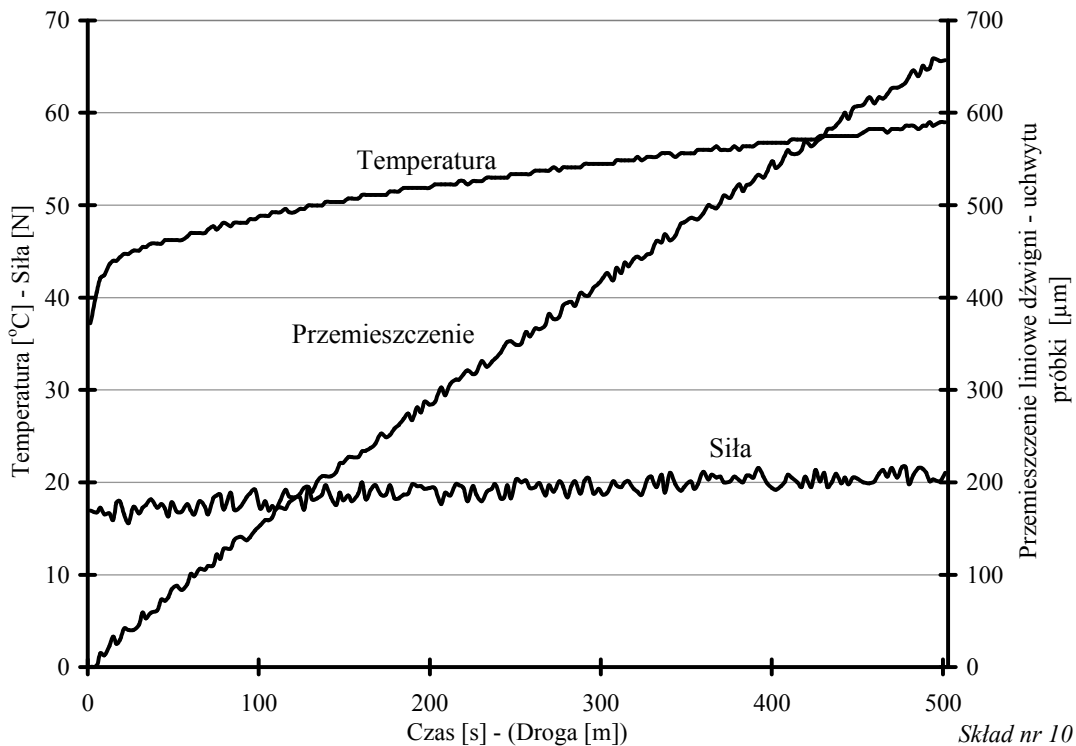
Wyznaczone pełne równanie regresji dla rozkładu zużycia ściernego próbek w stanie ulepszonym cieplnie ma postać:

$$Y_{[\text{SCIERN}]} = 0,156 + 0,122 X_1 + 0,022 X_1^2 - 0,005 X_2 + 0,0005 X_2^2 + 0,008 X_3 + 0,022 X_3^2 - 0,014 X_1 X_2 - 0,015 X_1 X_3 + 0,014 X_2 X_3 \quad [\text{g}] \quad (1)$$

gdzie:

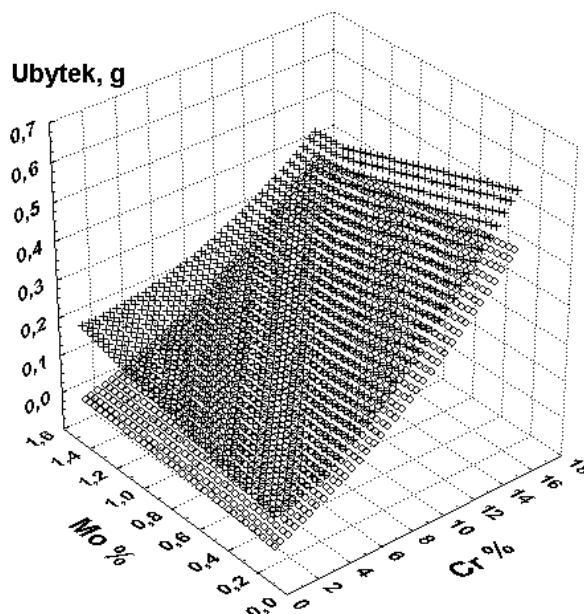
$$X_1 = \frac{Cr - 8}{4,5} \quad X_2 = \frac{Mo - 0,8}{0,4} \quad X_3 = \frac{V - 0,3}{0,2}$$

Cr; Mo; V –zawartość danego pierwiastka %.

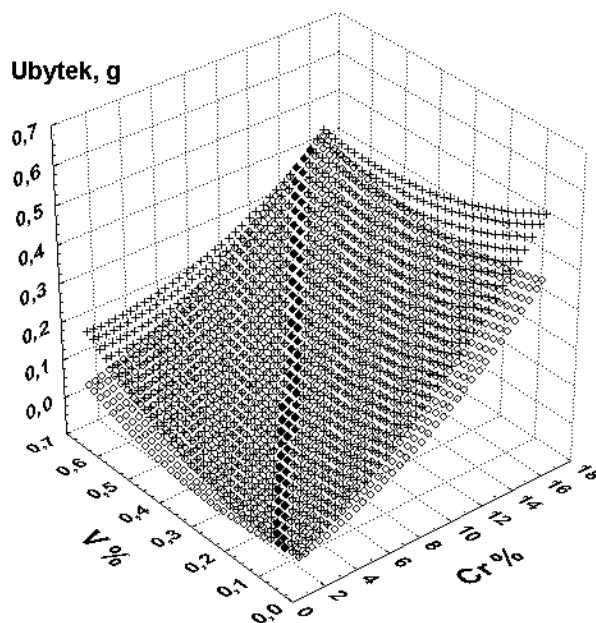


Rys. 2. Wykresy dla staliwa o składzie nr 10 przebiegu zmian siły ścierania, temperatury w pobliżu węzła tarcia oraz przemieszczenia dźwigni uchwytu próbki w funkcji czasu – drogi ścierania. Warunki testu: przeciwpróbka: papier ścierny „P400A PS11 Auto-Paper Wasserfest” firmy Klingspor, prędkość przeciwpróbki 1m/s, obciążenie próbki $\varnothing 5$ 39,24N [1]

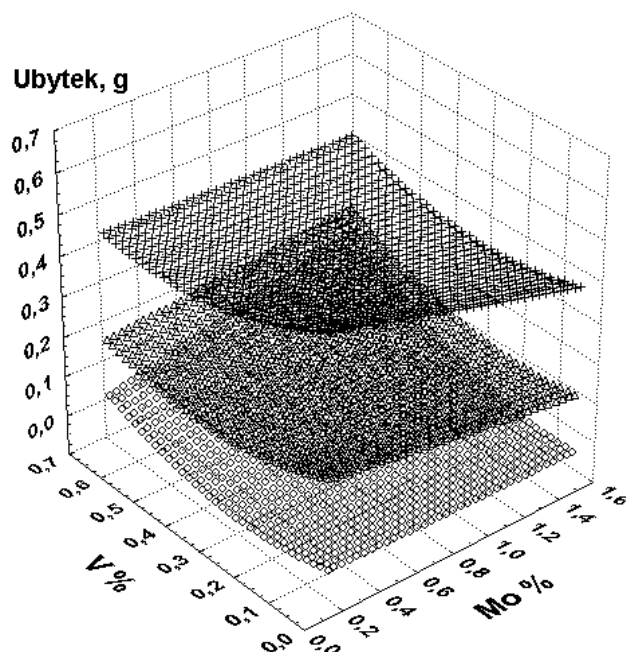
Graficzne przedstawienie wpływu pierwiastków stopowych na zużycie ścierne staliwa w stanie ulepszonym cieplnie ilustrują rysunki (3÷5).



Rys. 3. Graficzna ilustracja zależności (1) ubytku masy w próbce ścierania staliw obróbnym cieplnie od zawartości chromu, molibdenu i wanadu. Dodatkiem wanadu można sterować odpornością pomiędzy powierzchniami odpowiadającymi minimum (o) i maksimum (+) równania. Warunki testu: układ trzpień-tarcza, droga ścierania: $3 \times 500 = 1500\text{m}$, przeciwpróbka: papier ścierny „P400A PS11 Auto-Paper Wasserfest” firmy Klingspor, prędkość względna w węzle tarcia 1m/s, obciążenie próbki $\varnothing 5$ 39,24N (2 MPa) [1]



Rys. 4. Graficzna ilustracja zależności (1) ubytku masy w próbie ścierania staliw obróbnionych cieplnie od zawartości chromu, wanadu i molibdenu. Dodatkiem molibdenu można sterować odpornością pomiędzy powierzchniami odpowiadającymi minimum (o) i maksimum (+) równania. Jako (●) zaznaczono obszar w którym różnica pomiędzy maksimum i minimum ubytku masy wyznaczona na podstawie równania, jest mniejsza niż 0,01g. Watunki testu: układ trzpień-tarcza, droga ścierania: 3x500=1500m, przeciwpróbka: papier ścierny „P400A PS11 Auto-Paper Wasserfest” firmy Klingspor, prędkość względna w węźle tarcia 1m/s, obciążenie próbki Ø5 39,24N (2 MPa) [1]



Rys. 5. Graficzna ilustracja zależności (1) ubytku masy w próbie ścierania staliw obróbnionych cieplnie od zawartości molibdenu, wanadu i chromu. Dodatkiem chromu można sterować odpornością pomiędzy powierzchniami odpowiadającymi minimum (o) i maksimum (+) równania. Trzecia powierzchnia (Δ) odpowiada zawartości 8%Cr. Watunki testu: układ trzpień-tarcza, droga ścierania: 3x500=1500m, przeciwpróbka: papier ścierny „P400A PS11 Auto-Paper Wasserfest” firmy Klingspor, prędkość w węźle tarcia 1m/s, obciążenie próbki Ø5 39,24N (2 MPa) [1]

Maksimum równania regresji odpowiada teoretycznej zawartości: 16% Cr; 0% Mo oraz 0% V.

Teoretyczne minimum równania regresji po przeliczeniu na zmienne rzeczywiste odpowiada staliwu o zawartości: 0% Cr; 0% Mo i 0,254 % V

Jak wynika z równania (1) najistotniejszy wpływ samodzielny na wielkość ubytku masy czasie ścierania staliwa wywiera chrom, silnie podnosząc zużycie ($+0,122X_1$) i ($+0,022X_1^2$).

Wpływ molibdenu jest praktycznie nieistotny ($+0,005X_2$) i ($+0,0005X_2^2$).

Wanad samodzielnie podnosi zużycie ściernie ($+0,008X_3$), ($+0,022X_3^2$), ale istotne jest tylko oddziaływanie współczynnika w drugiej potęgze.

Współdziałanie chromu i molibdenu oraz chromu i wanadu w stopie wywiera minimalny korzystny wpływ na zmniejszenie zużycia ściernego staliwa ($-0,014X_1X_2$) ($-0,015X_1X_3$), współdziałanie wanadu i molibdenu obniża odporność na zużycie ściernie ($+0,014X_2X_3$).

Jak przedstawiono na rysunkach (3÷5) wpływ molibdenu i wanadu na odporność na ścieranie jest nieznaczny - w odróżnieniu od chromu bardzo intensywnie zwiększającego ubytek masy wraz ze wzrostem swego udziału w staliwie. Istnieje pewien zakres składów badanych staliw stopowanych chromem i wanadem oznaczonych (●)(rys. 4) teoretycznie niewrażliwych na dodatek molibdenu. Dla tego zakresu składów dodatkiem molibdenu można sterować np. wytrzymałością bez zmian wielkości ubytku ściernego.

Taki wpływ chromu, molibdenu i wanadu na zużycie ściernie może być związany z ich silnym działaniem węglilotwórczym. Przy jednoczesnym niedoborze węgla (zawartość ok. 0,3÷0,5%C) koniecznego dla utworzenia większej liczby węglików podnoszących odporność ścierną, wprowadzanie wyższych zawartości Cr, Mo i V (w sumie do ok. 18%) powoduje otrzymanie dużego udziału w strukturze miękkiej, plastycznej fazy międzydendrytycznej na bazie ferrytu oraz austenitu szczątkowego. Jednoczesne nałożenie właściwości heterogenicznej struktury staliwa – nierównomierność rozkładu pierwiastków pomiędzy dendrytami i przestrzeniami międzydendrytycznymi może powodować efekt zużycia początkowo jednej z wymienionych składowych struktur powodujący wzrost obciążenia, drugiej bardziej odpornej składowej i jej zużycie (szczególnie w drobnych proszkach ściernych). Zostało to zaobserwowane przy polerowaniu przy małych naciskach.

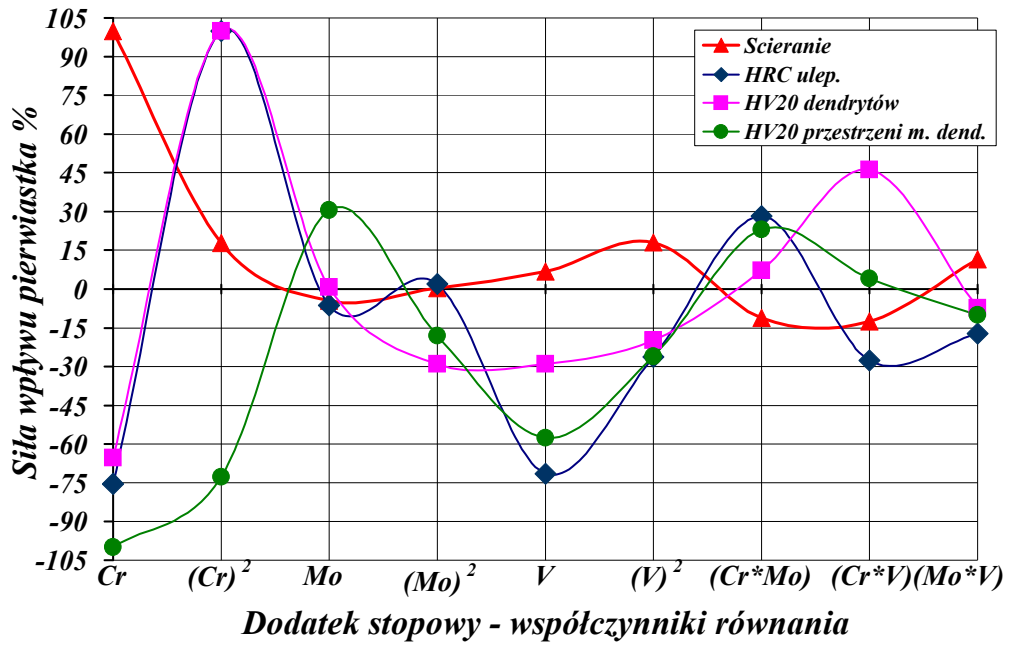
Analiza wzajemnych zależności współczynników równań regresji wartości ubytku masy i twardości od zawartości chromu molibdenu i wanadu została przedstawiona w postaci wykresów na rysunku 5.

Wykresy przedstawione na rysunku 5 powstały przez przeliczenie wartości współczynników określających wpływ pierwiastków stopowych na daną właściwość eksploatacyjną na ich procentowy udział w stosunku do wartości największego współczynnika. Tak otrzymane dane powinny być przedstawione w postaci słupków, jednak wykreślone krzywe łatwiej zinterpretować.

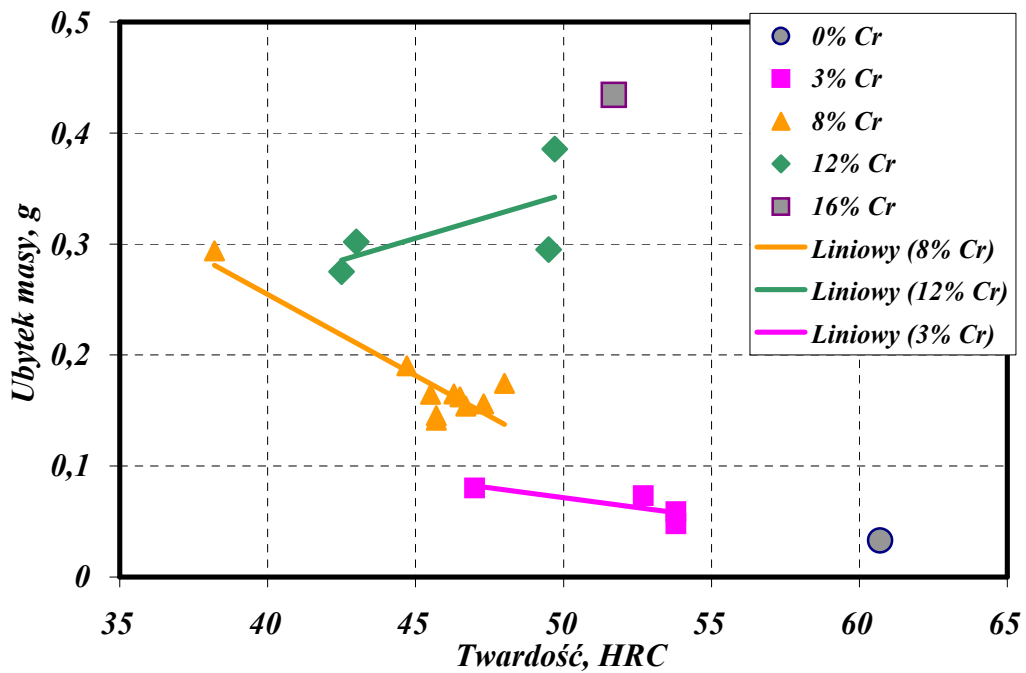
Jak przedstawiono na rysunku 5 nie stwierdzono występowania podobieństwa wpływu Cr, Mo i V na zależności: wartości odporności na ścieranie oraz twardości.

Samodzielny wpływ wanadu powoduje – w porównaniu z chromem – niewielki wzrost zużycia ściernego.

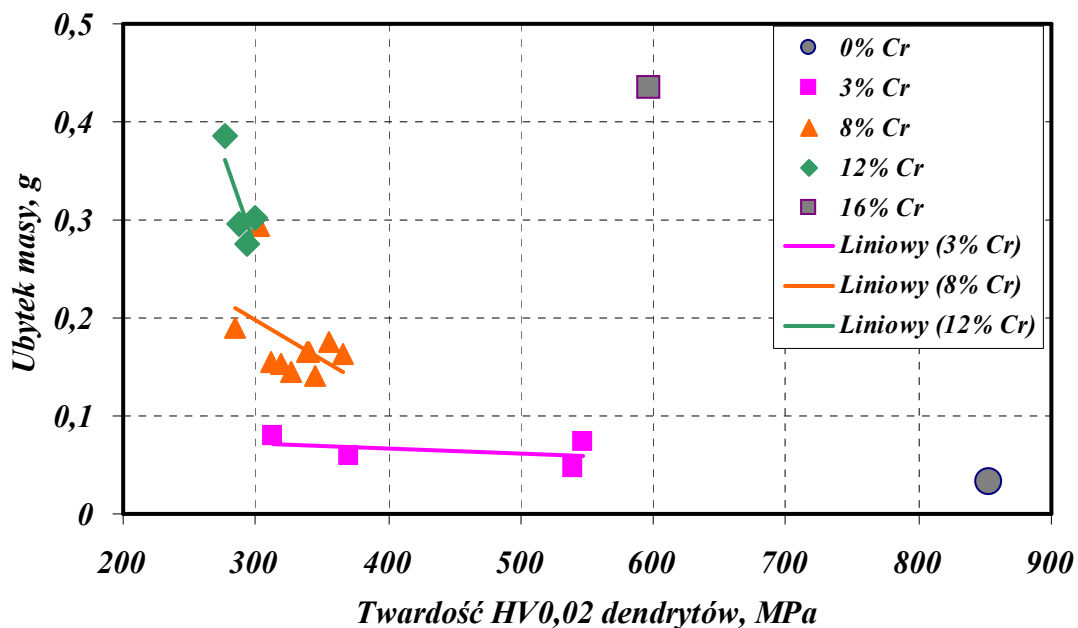
Z badań wynika również bezpośrednia zależność pomiędzy odpornością na ścieranie a zawartością chromu w staliwie (rys. 6÷8).



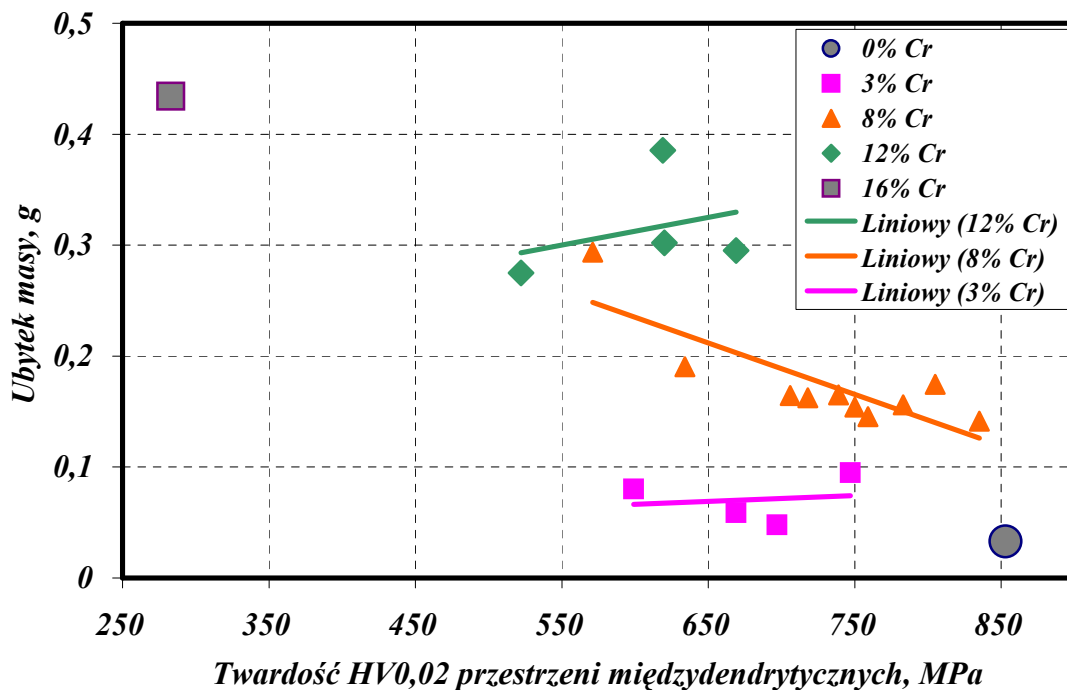
Rys. 5. Porównanie kierunku i siły wpływu współczynników równań regresji – dodatków stopowych – na ścieralność staliwa typu Cr-Mo-V-Cu-Ni



Rys. 6. Zależność ubytku masy próbki po próbie ścierania od twardości HRC i zawartości chromu w staliwie typu Cr-Mo-V-Cu-Ni, naniesiono linie trendu dla 3, 8 i 12% zawartości chromu



Rys. 7. Zależność ubytku masy próbki po próbie ścierania od twardości HV0,02 dendrytów i zawartości chromu w staliwie typu Cr-Mo-V-Cu-Ni, naniesiono linie trendu dla 3, 8 i 12% zawartości chromu



Rys. 8. Zależność ubytku masy próbki po próbie ścierania od twardości HV0,02 przestrzeni międzidendrytycznych i zawartości chromu w staliwie typu Cr-Mo-V-Cu-Ni ulepszonym cieplnie, naniesiono linie trendu dla 3, 8 i 12% zawartości chromu

4. Wnioski

Dla otrzymania staliw stopowych typu Cr-Mo-V-Cu-Ni odpornych na ścieranie w drobnych ścierniwach należy unikać wprowadzania dodatku chromu. Molibden i wanad jak wykazały badania nie odgrywają istotnej roli. Zaobserwowany ich wpływ jest na granicy istotności. W związku z tym dodatkiem molibdenu i wanadu można sterować innymi właściwościami (np. wytrzymałością, odpornością na korozję [1;3;5;6]) bez istotnego pogorszenia odporności na ścieranie.

Na podstawie przedstawionych wyników badań można stwierdzić, że wpływ chromu na wielkość zużycia ściernego jest istotniejszy niż wpływ twardości. Przy porównywalnej twardości próbek wraz ze wzrostem zawartości chromu do 16% ubytek masy próbki może się ponad ośmiokrotnie zwiększyć.

Spośród badanej grupy staliw typu Cr-Mo-V-Cu-Ni najmniejszym ubytkiem masy w próbie ścierania charakteryzuje się staliwo bez dodatku chromu.

Różny przebieg wyznaczonych linii trendu na rysunkach 2÷4 wynika ze zmian zawartości pozostałych pierwiastków stopowych, jednak tym samym świadczy o możliwości sterowania odpornością na zużycie ściernie przy zachowaniu zadanej twardości przez zmianę składu chemicznego staliwa.

Przedstawione wyniki badań umożliwiają właściwy dobór staliwa do stawianych mu zadań eksploatacyjnych w sprzęcie strzeleckim.

Literatura:

1. L. Chałko: Praca Doktorska pt. „Zależność wybranych właściwości eksploatacyjnych staliwa typu Cr-Mo-V-Cu-Ni od zawartości Cr, Mo i V”, Politechnika Radomska, Radom 2005.
2. Achnazarowa S.Ł. Kafarow W.W.: Optymalizacja eksperymentu w technologii chemicznej. WNT, Warszawa 1982.
3. L. Chałko, F. Wojtkun: Wpływ składu chemicznego na parametry odpuszczania, twardość i wytrzymałość staliwa do pracy na gorąco. Didmatech 2001, Materiały konferencyjne, PRad 2001.
5. L. Chałko, M. Kosmynina: „Influence of alloying additions on the corrosion resistance of steel castings”. Problems of Corrosion and Corrosion Protection of Materials, Physico-Chemical Mechanics of Materials Special Issue No3, Lviv 2002.
6. A. Kuzioła, F. Wojtkun, L. Chałko: Zastosowanie staliwa typu Cr-Mo-V-Cu-Ni w Energetyce. Konferencja Naukowo – Techniczna „Nowoczesne Stale Dla Energetyki”, Politechnika Świętokrzyska 1999.