

Adam GIEREK

Aniela MARCIAK

Institut Inżynierii Materiałowej
Politechnika Śląska

Roman WUSATOWSKI

Institut Metalurgii Żelaza - Gliwice

ODKSZTAŁCALNOŚĆ MODYFIKOWANEJ STALI SZYBKOTNĄCEJ SW7M

Streszczenie. Zbadano wpływ modyfikowania wapniem, borem, bizmutem, mizmetalem oraz mieszaniną tych pierwiastków na podatność stali szybkotnącej SW7M do odkształceń plastycznych w zakresie temperatur 850 do 1150°C. Stwierdzono, że wprowadzenie wapnia, wapnia i boru oraz wapnia i bizmutu powoduje wydatne zwiększenie odkształcalności granicznej stali, przy zachowaniu porównywalnej wartości maksymalnego naprężenia płynięcia. Modyfikowanie stali wapniem oraz wapniem i bizmutem zwiększa własności skrawne wierteł wykonanych z tej stali.

1. Wstęp

Stale szybkotnące są podstawowym tworzywem metalowym, stosowanym na narzędzia do obróbki skrawaniem, a także coraz częściej na narzędzia do przeróbki plastycznej na zimno i gorąco. Znaczenie tych materiałów nie zmniejsza się mimo wytwarzania znacznej ilości narzędzi skrawających z węglików spiekanych i węglików stali. Znaczna zawartość węgla oraz składników stopowych węglikotwórczych o wydatnie zróżnicowanej gęstości jest przyczyną, że stale te mają po zakrzepnięciu gruboziarnistą strukturę ledeburyticzną o dużej kruchości i cechują się silną likwacją wlewka. Następcza to poważne trudności podczas przeróbki plastycznej na gorąco i utrudnia uzyskanie równomiernego rozkładu drobnych węglików pierwotnych na przekroju półwyrobów, decydującego o trwałości eksploatacyjnej narzędzi. Stąd współczesne wysiłki koncentrują się na tematyce optymalizacji składu chemicznego, tj. optymalnego wykorzystania składników stopowych oraz polepszenia struktury pierwotnej poprzez zmianę geometrii wlewka, warunków odlewania, modyfikowanie, przetapianie próżniowe lub elektrożużlowe, bądź też wprowadzone ostatnio wytwarzanie stali szybkotnących metodą metalurgii proszków, np. ASEA-STORA.

Ta ostatnia metoda jest stosunkowo droga i znajduje zastosowanie głównie do wyrobu narzędzi o dużych przekrojach.

Przewiduje się [1-13], że duży wpływ na polepszenie podatności stali szybko tnących do odkształceń plastycznych na gorąco nastąpi wskutek wprowadzenia modyfikatorów, zmieniających postać i rozmieszczenie ledeburytu, wielkość ziarn osnowy oraz segregację węglików. Modyfikatory, jako pierwiastki lub kompozycje pierwiastków powierzchniowo aktywnych, są absorbowane na powierzchni zarodków krystalizacji i stanowią bariery hamujące dyfuzyjną wymianę atomów pomiędzy fazą stałą a ciekłą. W wyniku tego następuje ograniczony wzrost ziarn osnowy. Do pierwiastków szczególnie efektywnie oddziaływających na strukturę pierwotną stali stopowych należą: wapń [9, 10, 11, 14, 18], bor [19-22], bizmut [27-30] oraz pierwiastki ziem rzadkich [23-62].

Przedmiotem badań jest dobór optymalnego modyfikatora powodującego polepszenie własności plastycznych wprowadzanej coraz szerzej w przemyśle krajowym stali SW7M oraz zmniejszenie jej skłonności do pęknięcia podczas przeróbki plastycznej na gorąco.

2. Materiał do badań

Badania przeprowadzono na stali szybko tnącej SW7M, wytopionej w Hucie Baildon w 9 tonowym piecu elektrycznym łukowym firmy ASEA.

Płynną stal odlano we wlewki o masie ok. 300 kg, które po zakrzepnięciu ponownie przetopiono w piecu elektrycznym, dodając modyfikatory w postaci wapnia, boru, bizmutu i miszmetalów w ilości podanej w tabelicy 1.

Z przetopów odlano po dwa wlewki o masie ok. 140 kg, które po zakrzepnięciu poddano wyżarzaniu zmiękczającemu w 840°C przez 18 godzin, a następnie studzeniu w dole chłodniczym do temperatury pokojowej przez kilkanaście godzin. Po skórowaniu wlewki nagrzewano do temperatury 1130 do 1150°C i walcowano w tych warunkach na kęsiska o przekroju 100 x 100 mm. Z końców kęsisk pochodzących z głowy i stopy wlewków pobrano odcinki próbne o długości około 120 mm, które przewalcowano na gorąco w podanych uprzednio warunkach, początkowo na kęsy o przekroju 60 x 60 mm, a następnie na pręty o średnicy 16 mm. Z prętów walcowanych i wyżarzonych zmiękczająco wylewano próbki do badań oraz wiertła przeznaczone do oceny wpływu modyfikowania na własności użytkowe stali.

3. Przebieg badań

W celu określenia wpływu oddziaływania modyfikatorów na strukturę i podatność badanej stali szybko tnącej do odkształceń plastycznych na gorąco przeprowadzono próby skręcania w zakresie temperatur 850 do 1150°C oraz badania struktury stali w stanie lanym i przerobionym plastycznie.

Tablica 1

Udział mikrododatek w badanych wytopach stali SW7M

| Nr wytopu | Mikrododatek | |
|-----------|-------------------------------|----------------|
| | nazwa | udział % |
| 1 | Ca | 0,3 |
| 2 | Ca | 0,4 |
| 3 | Ca | 0,5 |
| 4 | Ca | 0,6 |
| 5 | B | 0,001 |
| 6 | B | 0,003 |
| 7 | B | 0,005 |
| 8 | Ca B | 0,3 0,001 |
| 9 | Ca B | 0,3 0,003 |
| 10 | Ca B | 0,3 0,005 |
| 11 | Ca B | 0,5 0,001 |
| 12 | Ca B | 0,5 0,003 |
| 13 | Ca B | 0,5 0,005 |
| 14 | miszmetal | 0,05 |
| 15 | miszmetal | 0,1 |
| 16 | miszmetal | 0,3 |
| 17 | B B1 | 0,003 0,001 |
| 18 | B B1 | 0,003 0,002 |
| 19 | B B1 | 0,003 0,003 |
| 20 | Ca B1 | 0,5 0,001 |
| 21 | Ca B1 | 0,5 0,002 |
| 22 | Ca B1 | 0,5 0,003 |
| 23 | wg dotychczasowej technologii | |

Próby skręcania przeprowadzono na plastometrze skrętnym, poddając badaniom próbki cylindryczne o średnicy 6 mm i długości pomiarowej 100 mm. Próbkę skręcano z prędkością obrotową 500 obr./min, tj. z prędkością odkształcenia zewnętrznych warstw próbki równą $2s^{-1}$. W trakcie badań przeprowadzonych w temperaturach od 850 do 1150°C rejestrowano wielkości momentu skręcającego i siły poosiowej w funkcji liczby obrotów. Próbkę po zamocowaniu w urządzeniu wygrzewano w piecyku plastometru w temperaturze próby przez 15 min, a następnie poddano skręcaniu aż do pęknięcia. Wartość naprężenia płynięcia w funkcji odkształcenia wyznaczono z zarejestrowanych krzywych umocnienia próbek w procesie skręcania. Określono maksymalną wartość naprężenia płynięcia [3] oraz odkształcalność graniczną, tj. liczbę skręceń do momentu pęknięcia próbki jako wartości średnie z 3 do 5 pomiarów.

Wpływ oddziaływania modyfikatorów na odkształcalność graniczną w funkcji temperatury badania opracowano statystycznie, stosując równanie liniowej regresji wielokrotnej:

$$n = a_0 + a_1T + a_2T^2 + a_3T^3 + a_4T^4 + a_5T^5 + a_6Ca + a_7B + a_8m\text{-met} + a_9Bi \quad (1)$$

n - liczba skręceń do momentu pęknięcia próbki.

Po obliczeniu współczynnika korelacji wielokrotnej wynoszącego 0,59, odchyłki standardowej od linii regresji równej 0,9 oraz współczynników korelacji cząstkowej, równanie (1) przyjmie postać:

$$\begin{aligned} n = & -4779,48 + \frac{17,91T}{0,27} - \frac{2,32 \cdot 10^{-2}T^2}{0,26} + \frac{1,00 \cdot 10^{-5}T^3}{0,24} + \\ & + \frac{1,75 \cdot 10^{-9}T^4}{0,23} - \frac{1,73 \cdot 10^{-12}T^5}{0,22} + \frac{1,89 \cdot Ca}{0,24} + \\ & + \frac{75,29B}{0,00} + \frac{3,36Ce}{0,01} - \frac{82,18Bi}{-0,11} + \xi \quad (2) \end{aligned}$$

Równanie (2) opisuje oddziaływanie badanych modyfikatorów na odkształcalność graniczną badanej stali.

Badania fraktograficzne powierzchni złomów próbek zniszczonych w próbie skręcania na gorąco przeprowadzono przy użyciu mikroskopu skaningowego w zakresie powiększeń 100 do 10000 x. Z uwagi na różne odkształcenia na przekroju próbek obserwacji złomów dokonano w obwodowych strefach próbek, gdzie wystąpiło największe odkształcenie plastyczne. Jednocześnie z obserwacjami powierzchni złomów przeprowadzono badanie metalograficzne zglądów wykonanych z drugiej części próbek skręconych. Obser-

wacji struktury stali dokonano w polu ciemnym, co umożliwiło ujawnienie granic ziarn austenitu pierwotnego.

Oceny morfologii i rozmieszczenia węglików w strukturze stali konwencjonalnej oraz modyfikowanej w stanie zmiękczonej dokonano metodą obserwacji struktury cienkich folii w mikroskopie elektronowym JEM-7, przy napięciu przyspieszającym 100 kV. Cienkie folie wykonano z płytek odciętych elektroiskrowo z próbek o średnicy 3,5 mm, wytoczonych z prętów uprzednio wyżarzonych zmiękczejaczo.

Identyfikacji faz węglikowych dokonano metodą rentgenowskiej analizy strukturalnej osadów wyizolowanych z próbek metodą elektrolitycznego rozpuszczenia osnowy stali.

Badania własności skrawnych wierteł o średnicy 13,5 mm, wykonanych ze stali konwencjonalnej i modyfikowanej przeprowadzono w Hucie Baildon na wiertarce kadłubowej BK-63, stosując dwie wersje parametrów skrawania, a mianowicie:

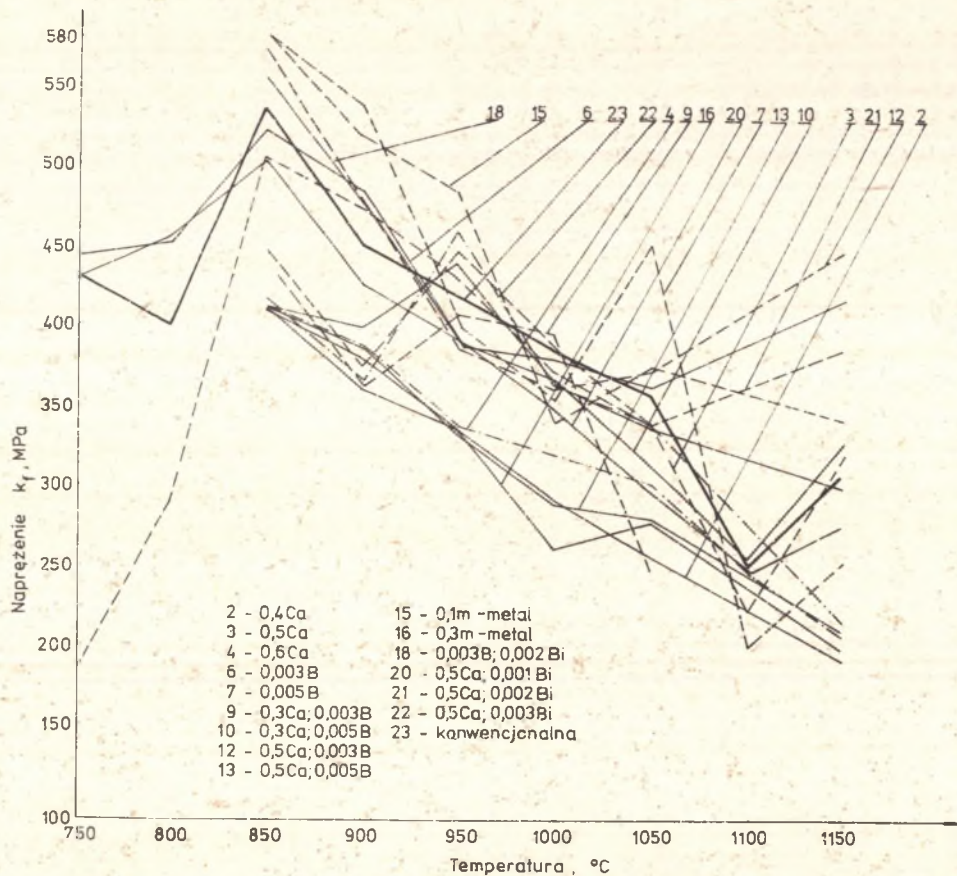
- materiał obrabiany - płaskownik ze stali 30HN3A o twardości 270 HB, prędkość obrotowa 355 obr./min, posuw 0,25 mm/obr., głębokość wiercenia 41 mm,
- materiał obrabiany - płaskownik ze stali konstrukcyjnej węglowej 55 o twardości 185 do 197 HB, prędkość obrotowa 500 obr./min, posuw 0,355 mm/obr., głębokość wiercenia 41 mm.

W czasie skrawania stosowano emulację chłodząco-smarującą zawierającą 5% oleju wiertniczego w wodzie. Wiercenie prowadzono do momentu stępienia ostrza wiertła, co ustalano na podstawie kryterium akustycznego. Po utracie zdolności skrawanych mierzono maksymalną wielkość stępienia ostrza wiertła h_{pmax} .

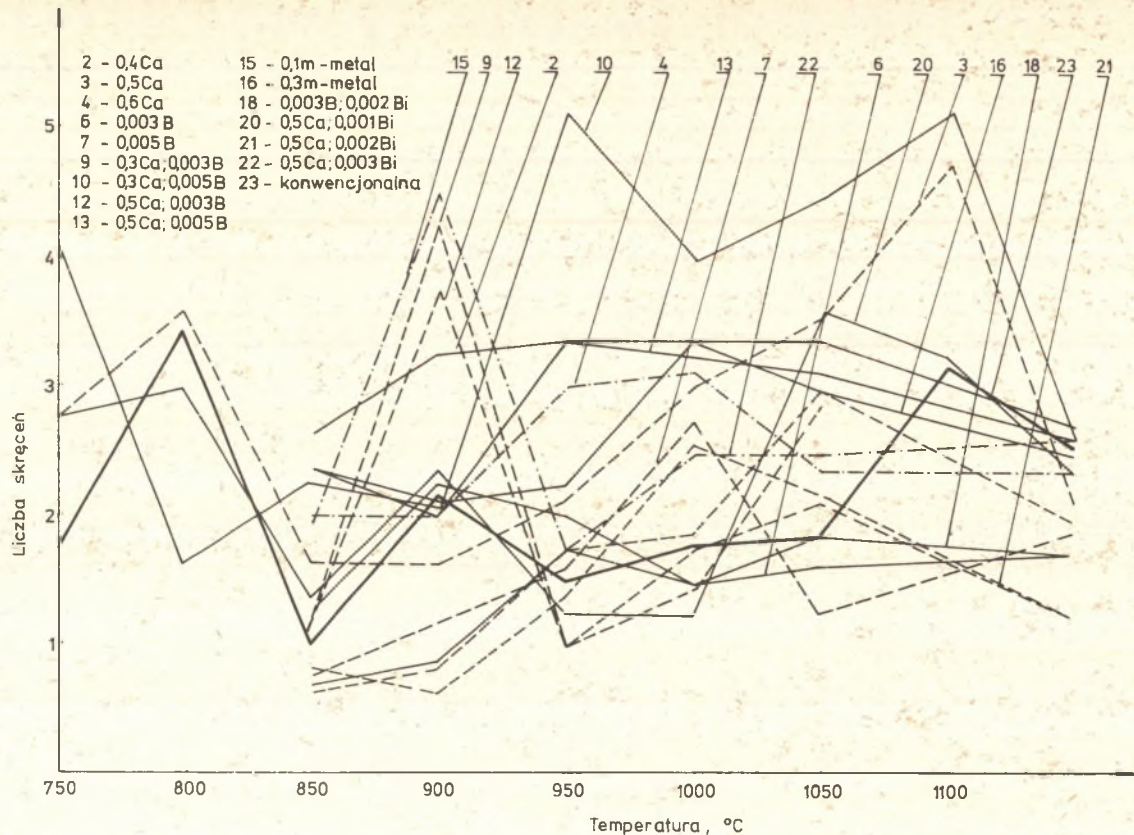
4. Wyniki badań

4.1. Wyniki badań wpływu modyfikowania na podstawie stali do odkształceń plastycznych na gorąco

Przeprowadzone badania wykazały, że rozproszanie modyfikatorów powoduje istotny wpływ tak na maksymalne naprężenie płynięcia jak i na odkształcalność graniczną badanej stali szybkotnącej. Stal SW7M, wytopiona konwencjonalnie oraz modyfikowana wapniem, borem, bizmutem, miszmetalem, a także kompozycjami tych substancji, wykazuje największe wartości maksymalnego naprężenia płynięcia k_f w temperaturze ok. 850°C (rys. 1). Podwyższenie temperatury próby skręcania na gorąco powoduje na ogół łagodny spadek k_f , za wyjątkiem stali modyfikowanej wapniem i bizmutem (wytop 22), która wykazuje pik k_f w temperaturze ok. 950°C oraz stali modyfikowanej borem w ilości 0,005% (wytop 7), która ma pik k_f w ok. 1050°C. Modyfikowanie oddziaływa znacznie silniej na odkształcalność graniczną stali.



Rys. 1. Wpływ temperatury odkształcenia na maksymalne naprężenia płynięcia stali SW7M konwencjonalnej i modyfikowanej



Rys. 2. Wpływ temperatury próby skręcania na odkształcalność graniczną stali SW7M konwencjonalnej i modyfikowanej

Jak widać na rys. 2, stal konwencjonalna ma największą odkształcalność graniczną w temperaturach bliskich 800 i 1100°C. Znacznie większą liczbę obrotów do pęknięcia próbek w temperaturach bliskich 900°C ma stal modyfikowana m-metalem w ilości 0,1% oraz wapniem i borem w ilości 0,3% Ca + 0,003% B i 0,5% Ca + 0,003% B (wytopy 15, 9 i 12) w temperaturach bliskich 1050 do 1100°C - stale modyfikowane wapniem w ilości 0,5% oraz wapniem i bizmutem w ilości 0,5% Ca + 0,001% Bi (wytopy 3 i 20), natomiast w zakresie temperatur od około 900 do 1100°C - stal modyfikowana wapniem i borem w ilości 0,3% Ca + 0,005% B i 0,5% Ca + 0,005% B, wapniem w ilości 0,4% oraz m-metalem w ilości 0,3% (wytopy 10, 2 i 13).

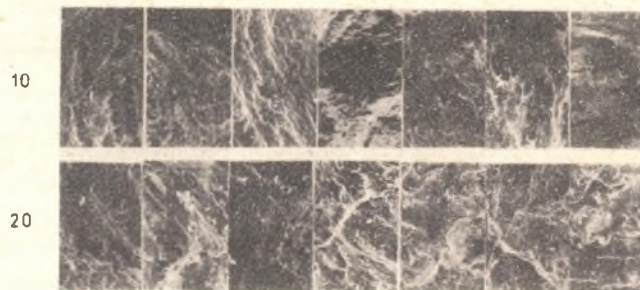
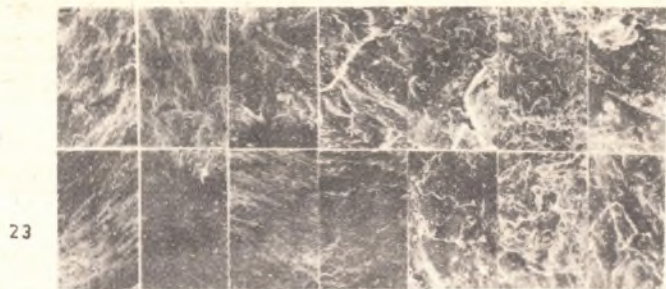
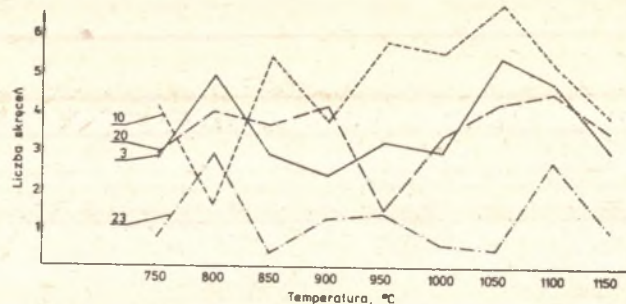
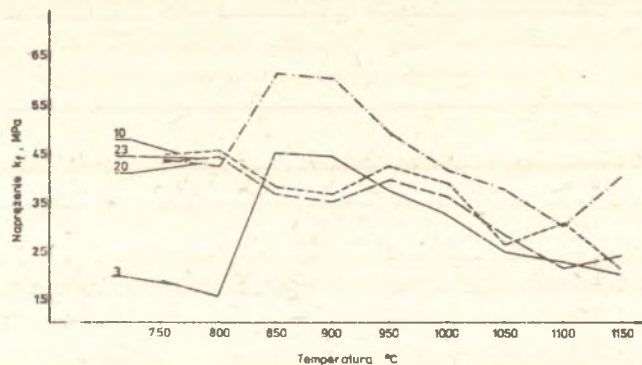
Największą odkształcalność graniczną, ponad dwukrotnie większą od odkształcalności granicznej stali konwencjonalnej w zakresie temperatur od ok. 950 do 1100°C wykazuje stal modyfikowana wapniem i borem w ilości 0,3% Ca + 0,005% B (wytopy 10).

Omówiony przebieg zmian maksymalnego naprężenia płynięcia oraz odkształcalności granicznej stali konwencjonalnej i modyfikowanej znajduje odzwierciedlenie w wyglądzie powierzchni złomu próbek skręcanych w badanym zakresie temperatur.

Jak widać na rys. 3, przedstawiającym zależność pomiędzy wartością k_f wybranych wyrobów stali i powierzchnią złomu, próbki zniszczone w temperaturach, w których k_f osiąga wartości duże i największe, mają złom o słabo wykształconej topografii, zbliżony do kruchego. Natomiast próbki zniszczone w temperaturach, w których k_f ma wartości małe i umiarkowane mają złom ciągliwy o wydatnie rozwiniętej topografii. Przy tym próbki ze stali konwencjonalnej (23) wykazują złom zbliżony do kruchego w znacznie szerszym zakresie temperatur aniżeli próbki ze stali modyfikowanej wapniem (3). Podobnie silniej rozwiniętą topografię powierzchni złomu ujawniają próbki ze stali wykazującej w temperaturze badania większą odkształcalność graniczną (rys. 4).

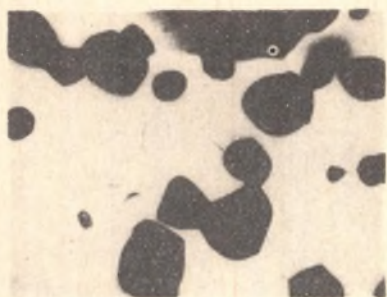
Różne zachowanie się stali konwencjonalnej i modyfikowanej w procesie odkształcenia plastycznego na gorąco związane jest ze strukturą pierwotną wlewka oraz ze strukturą stali w stanie zmiękczonej po przeróbce plastycznej na gorąco. Oddziaływanie badanych modyfikatorów na postać i rozmieszczenie eutektyki oraz wielkość ziarn osnowy stali w stanie lanym omówiono w pracy [3]. Struktura pierwotna wlewków wywiera duży wpływ na wielkość, postać i rozkład węglików w prętach walcowanych na gorąco i zmięczonych w tych samych warunkach.

Stal konwencjonalna wykazuje w stanie wyżarzonym zmiękczałą strukturę ferrytu z węglnikami o zmiennej wielkości i postaci, nierównomiernie rozmieszczonymi w osnowie, głównie na granicach podziarn (5), podczas gdy węgliki w stali modyfikowanej wapniem, wapniem i borem, wapniem i bizmutem, a także m-metalem są bardziej drobnoziarniste i prawie równomiernie rozłożone w osnowie (rys. 6). Natomiast w stali modyfikowanej borem występują po zmięczeniu węgliki grubo- i drobnoziarniste, o rozmieszczeniu podobnym jak w stali konwencjonalnej (rys. 7).

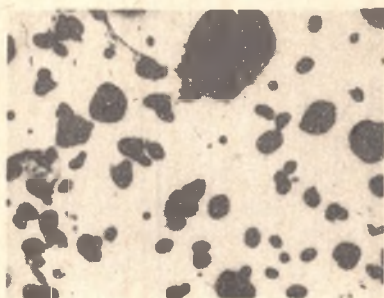
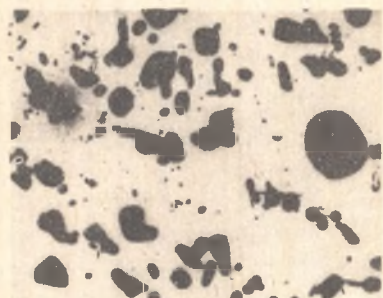


Rys. 3. Wpływ temperatury badania na maksymalne naprężenie płynięcia oraz morfologię złomu próbek zniszczonych ze stali konwencjonalnej (23) i modyfikowanej wapniem (3); mikr. skaning. 150 x

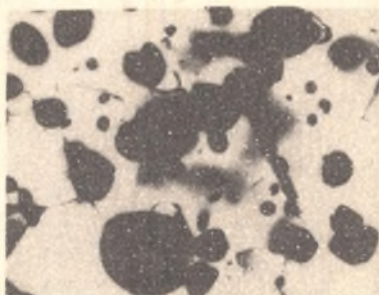
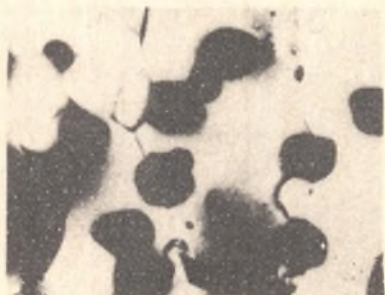
Rys. 4. Wpływ temperatury badania na odkształcalność graniczną oraz morfologię złomu próbek zniszczonych ze stali modyfikowanej wapniem i bizmutem (10) oraz wapniem i bizmutem (20); mikr. skaning. 150 x



Rys. 5. Struktura konwencjonalnej stali SW7M w stanie zmiękczonej
 a - nierównomierny rozkład węglików o zmiennej wielkości ziarn i postaci, cienka folia, 16000 x; b - wydzielenia węglików na granicach bloków, cienka folia, 23000 x



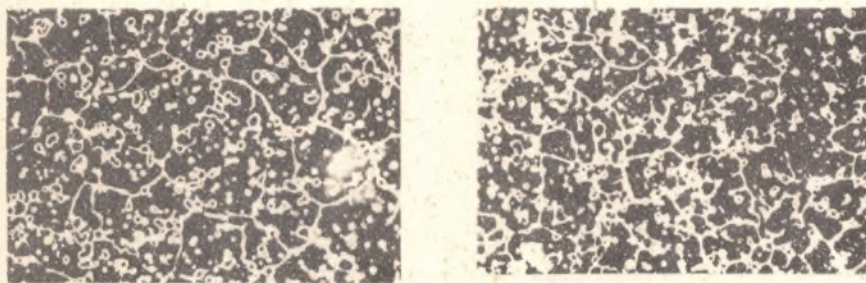
Rys. 6. Równomierny rozkład drobnych węglików w ferrycie zmiękczonej stali modyfikowanej
 a - wapniem (3), cienka folia, 16000 x, b - wapniem i bizmitem (20), cienka folia, 16000 x



Rys. 7. Rozkład węglików w zmiękczonej stali modyfikowanej borem
 a - cienka folia, 16000 x; b - cienka folia, 7000 x

Rentgenowska analiza strukturalna izolatów wyekstrahowanych ze stali w stanie zmiękczonym wykazała, że modyfikowanie nie wpływa na skład fazowy węglików. Tak w stali konwencjonalnej, jak i modyfikowanej stwierdzono obecność węglików M_6C , $M_{23}C_6$ oraz M_4C_3 . Nie stwierdzono natomiast obecności węglików typu M_2C , tworzących się w procesie krystalizacji stali. Zgodnie z danymi prac [1, 2] węgliki te podczas przeróbki plastycznej i wygrzewania stali w temperaturach wyższych od $620^{\circ}C$ przemieniają się w węgliki M_6C i $M_{23}C_6$.

Wpływ modyfikowania zaznacza się także w strukturze stali po odkaztałczeniu plastycznym próbek w tej samej temperaturze próby skręcania.

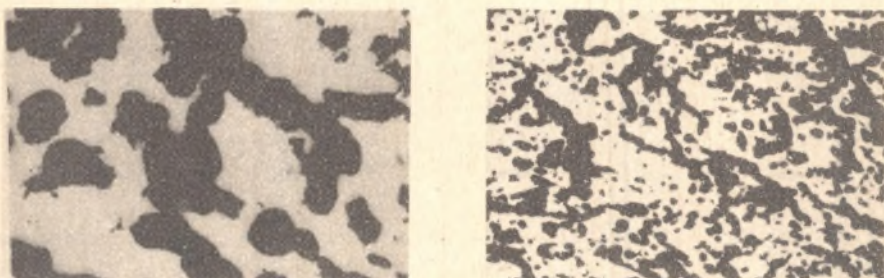


Rys. 8. Struktura stali SW7M po próbie skręcania w temperaturze $1150^{\circ}C$
a - stal konwencjonalna, 1000 x; b - stal modyfikowana wapniem, 1000 x



Rys. 9. Drobnoziarnista struktura austenitu pierwotnego stali konwencjonalnej po próbie skręcania w temperaturze $1100^{\circ}C$, 1000 x

Jak widać na rys. 8 stal konwencjonalna w porównaniu z modyfikowaną wapniem wykazuje bardziej gruboziarnistą strukturę austenitu pierwotnego z nierównomiernie rozmieszczonymi węglnikami o zmiennej wielkości i postaci. Wydatne zmniejszenie wielkości ziarn austenitu pierwotnego następuje wskutek obniżenia temperatury próby. Widać to na przykładzie struktury stali konwencjonalnej po próbie skręcania w temperaturze $1100^{\circ}C$ (rys. 9). Tym niemniej rozkład węglików, ich wielkość i postać nie zmieniają się istotnie w porównaniu ze zmiękczonym stanem stali (rys. 10).



Rys. 10. Rozkład węglików na powierzchni złomu próbek
 a - stal konwencjonalna po próbie skręcania w 1100°C , 10000 x; b - stal modyfikowana wapniem po próbie skręcania w 1100°C , 10000 x

4.2. Wyniki badań własności skrawnych wiertel

Przeprowadzone próby własności skrawnych wykazały, że wiertła ze stali modyfikowanych mają dobrą trwałość ostrza przy wierceniu stali konstrukcyjnej stopowej 30HN3A. Wiertła te wykazały lepsze własności skrawne od wykonanych ze stali konwencjonalnej (23). Szczególnie dobre własności skrawania uzyskały wiertła ze stali modyfikowanej wapniem w ilości 0,5% (3) oraz wapniem i bizmitem w ilości 0,5% + 0,002% (21) (rys. 11).

Przy wierceniu stali konstrukcyjnej węglowej 55 nie stwierdzono natomiast wyraźnego wpływu modyfikatorów na polepszenie własności skrawnych wiertel (rys. 11).

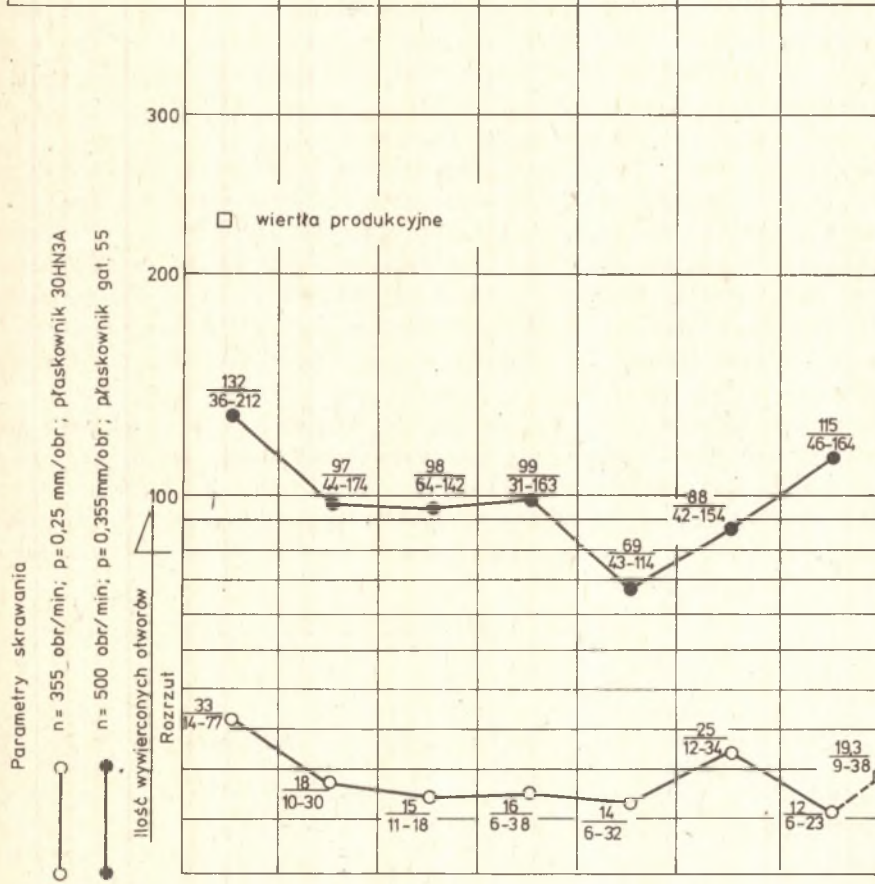
Wyniki średnie, uzyskane z sześciu wytopów stali modyfikowanych, nie są wyższe od stali konwencjonalnej. Wyniki te odniesiono jednak tylko do jednego wytopu stali konwencjonalnej przy zachowaniu stałych parametrów skrawania. Ostateczne wyniki własności użytkowych stali modyfikowanych, zwłaszcza wapniem i borem, należałoby ustalić w szerszym zakresie parametrów skrawania w oparciu o rachunek statystyczny.

5. Podsumowanie i wnioski

Przeprowadzone badania potwierdziły tezę pracy, dotyczącą wpływu modyfikowania na podatność stali szybkoctnej SW7M do odkształceń plastycznych na gorąco. Stwierdzono bowiem, że wprowadzenie do stali modyfikatorów, szczególnie wapnia, wapnia i boru oraz wapnia i bizmutu powoduje wydatny wzrost odkształcalności granicznej stali przy zachowaniu porównywalnej lub nieco mniejszej wartości maksymalnego naprężenia płynięcia jak dla stali konwencjonalnej (rys. 1 do 4).

Podobny przebieg krzywych k_f w funkcji temperatury próby skręcania wskazuje, że mechanizm umocnienia podczas odkształcenia plastycznego i towarzyszące mu procesy dynamiczne aktywowane cieplnie, tj. zdrowienie, po-

| | | | | | | | |
|----------------------------|---------|---------|--------------|-----------------|----------------|--------------|---------------------|
| Temperatura hartowania, °C | 1226 °C | 1222 °C | 1219 °C | 1220 °C | 1223 °C | 1224 °C | 1226 °C |
| Czas wygrzewania | 75 sek. | | | | | | |
| Temperatura odpuszczania | 570 °C | | | | | | |
| Czas odpuszczania | 3 × 2 h | | | | | | |
| Lp. wytopu | 3 | 6 | 12 | 15 | 18 | 21 | 23 |
| Nr partii | 24-102 | 24-108 | 24-106 | 24-114 | 24-103 | 24-99 | 24-115 |
| Nr wytopu | 250980 | 250983 | 250990 | 250993 | 240977 | 240982 | 262509 |
| Mikrodoładki nazwa | Ca | B | Ca B | misz - metal | B Bi | Ca Bi | wg doł. technol. |
| Udział % | 0,5 | 0,003 | 0,5 0,003 | 0,1 | 0,003 0,002 | 0,5 0,002 | — |



Rys. 11. Zestawienie średnich własności skrawanych wiertel krętych NWKa o średnicy 13,5 mm ze stali konwencjonalnej i modyfikowanej

lignonizacja oraz rekrytalizacja dynamiczna i poddynamiczna, usuwające skutki zgniotu są podobne tak w stali konwencjonalnej, jak i modyfikowanej wymienionymi pierwiastkami lub ich mieszaninami.

Zwiększenie odkształcalności granicznej stali modyfikowanych w stosunku do konwencjonalnej przypisać należy oddziaływaniu modyfikatorów na rozdrobnienie węglików i ich równomierne rozmieszczenie w osnowie (rys. 5 do 7). Taki rozkład drobnych węglików ułatwia przebieg odkształcenia plastycznego, podczas gdy ich uprzywilejowane rozmieszczenie na granicach ziarn i bloków zwiększa kruchość stali.

Mniejsza odkształcalność tak stali konwencjonalnej jak i modyfikowanej w dolnym badanym zakresie temperatur jest spowodowana zmniejszoną szybkością przebiegu dynamicznych i poddynamicznych procesów aktywowanych ciepłynie. Świadczy o tym wybitnie drobnoziarnista struktura stali austenitu pierwotnego (rys. 3). Natomiast malejąca odkształcalność graniczna stali w górnym badanym zakresie temperatur jest prawdopodobnie wynikiem zmniejszenia wytrzymałości granic ziarn.

W wyniku przeprowadzonych badań stwierdzono:

Wprowadzenie modyfikatorów, szczególnie wapnia, węgla i boru oraz węgla i bizmutu powoduje wydatne polepszenie odkształcalności granicznej stali szybko tnącej SW7M w zakresie temperatur 800 do 1150°C, przy porównywalnej lub nieco mniejszej wartości maksymalnego naprężenia płynięcia.

Zwiększenie odkształcalności granicznej pod wpływem wymienionych modyfikatorów jest wynikiem rozdrobnienia węglików i ich równomiernego rozmieszczenia w osnowie stali; nie następuje przy tym zmiana składu fazowego węglików.

Wprowadzenie boru jako modyfikatora nie polepsza odkształcalności granicznej stali, lecz zwiększa jej maksymalne naprężenie płynięcia, szczególnie w zakresie temperatur bliskich 850°C.

Modyfikowanie wapniem w ilości 0,5% oraz węgla i bizmutem w ilości 0,5% Ca + 0,002% Bi powoduje polepszenie własności skrawnych wierteł ze stali szybko tnącej SW7M.

LITERATURA

- [1] MARCIAK A., SZAFRANIEC B., LIPOWCZAN J.: Sprawozdanie nr 1141, IMŻ, 05.1.7/01.04.03/HP, 1974.
- [2] MARCIAK A.: Sprawozdanie nr 1542, IMŻ, 1976.
- [3] MARCIAK A.: Praca doktorska, 1976.
- [4] KIRK F.A.: Steel Times 197, Nr 1, s. 35 i Nr 2, s. 83.
- [5] Bery J.T.: Ind. Heat., t. 38, Nr 3, 1971, s. 452.
- [6] BRAUN M.P. i współautorzy: Modificirowannaja bystroreżuszczajaja stal, Mieżgiz, 1955.
- [7] LASSOTA K.: Sprawozdanie IMŻ, B-1957.
- [8] TESCHE K., BUETHNER W.: DW-Tech. Berichte Nr 4, 1964, s. 51.

- [9] SPANSELLER D.W., FINN P.A.: Trans. of the Metallurg. AIMJ, t. 230 nr 6, 1964.
- [10] ARCHAROW W.I. i inni: Dokł. Akad. Nauk CCCP, t. 222, 1975, nr 5, s. 1079.
- [11] ALOCK C.B., RICHARDSON F.D.: Acta Met. t. 6, 1960, s. 882.
- [12] PROSWIRIN W.J. i inni: Sbornik trudow CNIT Masz, Maszgiz 1952, s. 160.
- [13] FIEDLER H., Eckstein H.: Neu Hutte, nr 5, 1968, s. 268.
- [14] WAGNER C.: J. Chem. Phys. t. 19, 1951, s. 626.
- [15] JODKOWSKIJ Z.A. i współautorzy: Fiziko-chimiczeekije osnovy proizvodstwa stali, Moskwa 1968, s. 246.
- [16] LOW I.R.: Trans, AIME, t. 245, 1969, s. 2481.
- [17] JOLLY R.: Met. Trans. t. 2, 1971, s. 341.
- [18] ARCHAROW W.I.: Trudy Instituta fiziki metalełow, 19, AN ZSRR, 1958, s. 153.
- [19] PRIDONCEW M.W., MIESZCZERINOWA O.N.: Metalełowiedienije i tiermiczeskaja obrabotka, 1958, s. 3.
- [20] Kozłowski R.: Rozprawa doktorska, 1972, Politechnika Śląska.
- [21] FIRGANEK H.: Referat wstępny "Badania rozmieszczenia boru w stalach szybkotnących" IMŻ, 1974.
- [22] Praca zbiorowa: Boron, Calcium, Columbium and Ironiecum in Iron and Steel, ss. 7-51.
- [23] ABORN R.H.: The Biuletin of the Bismuth Institute, Nr 7, 1975.
- [24] Pat. RFN firmy Creusat-Loire, Nr 2122746, 1973.
- [25] Pat. Jap. firmy DREWENT Nr 7247206, 1972.
- [26] LYNCH D.W.P.: AI ME - Konferenz Pittsburg, Stahl u. Eisen 84, Nr 19, 1964, s. 1205.
- [27] POST C.B. i inni: J. Metals 1951, t. 3, Nr 11, s. 973.
- [28] POST C.B.: Blast Furnace Steel Plaut 1953, t. 41, Nr 6, s. 627.
- [29] PAWŁOWSKIJ D.J. i inni: Izwiestija Wyższ. Uczeb. Zawiod. Czornaja Metalełurgija, 1970.
- [30] KRESZCZANOWSKIJ N.S., SIDORENKO M.F.: Modificirowanije stali, Metalełurgija, Moskwa 1970.

ДЕФОРМИРУЕМОСТЬ МОДЕФИЦИРОВАННОЙ ВЫСТРОРЕЖУЩЕЙ СТАЛИ SW7M

Р е з ю м е

В статье рассматривается влияние модифицирования кальцием, бором, висмутом, миниметаллом, а также смесью этих элементов на деформируемость быстро-режущей стали SW7M в пределе темпер. 850⁰-1150⁰С. Определено, что введение кальция, кальция и бора, а также кальция и висмута вызывает в большой степени предельную деформируемость стали, при сохранении сравниваемой величины максимального напряжения течения. Модифицирование стали кальцием, а также кальцием и висмутом увеличивает свойства резки стержней изготовленных из стали.

FORMABILITY OF MODIFIED HIGH SPEED STEEL SW7M

S u m m a r y

The impact of high speed steel modified by Ca, B, Bi, mischmetal and a mixture of these elements on its plastic formability within the temperature range 850°C to 1150°C was studied. Introducing Ca, Ca and B, Ca and Bi was found to cause a marked increase in limiting steel formability, with a comparable value of maximum flow stress being preserved. Modifying steel by Ca, Ca and Bi increases machining properties of drills produced of this steel.

Tablica 2

Skład chemiczny wytopów probnych stali SW7M w %

| Numer wytopu | C | Mn | Si | P | S | Cr | W | V | Mo | Ni |
|-----------------|------|------|------|-------|-------|------|------|------|------|-----|
| 240953/1 | 0,88 | 0,30 | 0,19 | 0,024 | 0,019 | 4,03 | 6,83 | 1,80 | 5,16 | 0,2 |
| 954/2 | 0,86 | 0,29 | 0,24 | 0,022 | 0,020 | 4,12 | 6,70 | 1,79 | 6,06 | 0,2 |
| 250980/3 | 0,88 | 0,40 | 0,31 | 0,024 | 0,024 | 3,92 | 6,62 | 1,72 | 5,03 | 0,2 |
| 981/4 | 0,88 | 0,31 | 0,30 | 0,021 | 0,010 | 4,09 | 6,80 | 1,86 | 5,18 | 0,2 |
| 982/5 | 0,89 | 0,28 | 0,23 | 0,023 | 4,024 | 4,10 | 7,00 | 1,90 | 4,08 | 0,2 |
| 983/6 | 0,86 | 0,28 | 0,28 | 0,023 | 0,021 | 4,17 | 6,60 | 1,84 | 5,07 | 0,2 |
| 984/7 | 0,86 | 0,35 | 0,28 | 0,023 | 0,024 | 4,12 | 6,85 | 1,76 | 4,98 | 0,2 |
| 985/8 | 0,85 | 0,31 | 0,27 | 0,022 | 0,019 | 4,12 | 6,53 | 1,85 | 5,18 | 0,2 |
| 986/9 | 0,89 | 0,31 | 0,26 | 0,027 | 0,024 | 4,08 | 7,00 | 1,88 | 5,02 | 0,2 |
| 987/10 | 0,90 | 0,27 | 0,30 | 0,027 | 0,021 | 4,04 | 6,56 | 1,80 | 5,04 | 0,2 |
| 989/11 | 0,86 | 0,33 | 0,24 | 0,024 | 0,022 | 3,96 | 6,52 | 1,81 | 5,16 | 0,2 |
| 990/12 | 0,88 | 0,31 | 0,31 | 0,022 | 0,020 | 4,07 | 6,72 | 1,84 | 4,92 | 0,2 |
| 991/13 | 0,88 | 0,30 | 0,30 | 0,025 | 0,023 | 4,10 | 6,83 | 1,84 | 4,98 | 0,2 |
| 992/14 | 0,87 | 0,27 | 0,26 | 0,025 | 0,023 | 4,05 | 6,85 | 1,84 | 5,01 | 0,2 |
| 993/15 | 0,86 | 0,27 | 0,28 | 0,023 | 0,024 | 4,05 | 6,95 | 1,88 | 5,02 | 0,2 |
| 994/16 | 0,85 | 0,27 | 0,25 | 0,028 | 0,018 | 4,14 | 6,62 | 1,84 | 5,06 | 0,2 |
| 240970/17 | 0,88 | 0,32 | 0,27 | 0,019 | 0,019 | 3,81 | 7,00 | 1,87 | 4,50 | 0,2 |
| 977/18 | 0,87 | 0,32 | 0,30 | 0,018 | 0,018 | 3,86 | 7,00 | 1,83 | 4,79 | 0,2 |
| 980/19 | 0,89 | 0,25 | 0,40 | 0,019 | 0,020 | 3,81 | 6,90 | 1,80 | 4,52 | 0,2 |
| 981/20 | 0,89 | 0,26 | 0,40 | 0,019 | 0,016 | 3,98 | 6,97 | 1,91 | 4,57 | 0,2 |
| 982/21 | 0,90 | 0,27 | 0,36 | 0,026 | 0,022 | 4,18 | 7,02 | 1,01 | 5,03 | 0,2 |
| 983/22 | 0,87 | 0,25 | 0,35 | 0,022 | 0,019 | 4,00 | 7,00 | 1,02 | 4,73 | 0,2 |
| 262509/23 | 0,89 | 0,36 | 0,20 | 0,020 | 0,025 | 4,03 | 7,00 | 1,88 | 4,97 | 0,2 |