

JERZY SZYRAJEW  
Katedra Obróbki Skrawaniem

## STALE AUTOMATOWE I ICH SKRAWALNOŚĆ

Omówiono wymagania stawiane stalom automatowym pod względem skrawalności oraz wskaźniki służące do jej oceny. Dokonano przeglądu rodzajów stali automatowych i naświetlono w oparciu o literaturę wpływ składu chemicznego i sposobu wytwarzania na ich skrawalność. Podano wnioski dotyczące potrzeby polepszenia skrawalności i dalszego rozwoju krajowych stali automatowych.

### 1. Wymagania stawiane stalom automatowym

Stale automatowe, jak nazwa wskazuje, nadają się specjalnie do obróbki na automatach. Wspólną cechą tych stali jest ich podwyższona skrawalność w stosunku do stali nieautomatowych, używanych do wyrobu analogicznych części o zbliżonych własnościach eksploatacyjnych.

Obróbka na automatach tokarskich i innych obrabiarkach o cyklu automatycznym w swym założeniu ma przebiegać bez ustawicznej ingerencji obsługi. Tworzące się w czasie skrawania wióry nie powinny się w związku z tym kłębić, owijać narzędzi, zapychać rowków wiórowych w narzędziach i uszkadzać obrabianych przedmiotów. Mając na względzie wydajność i koszt obróbki, stale automatowe powinny charakteryzować się małym zużyciem ostrza narzędzia, a w związku z tym możliwością stosowania wysokich szybkości skrawania, odpowiadających ekonomicznym okresom trwałości. Najczęściej na automatach, w szczególności mniejszych, wykonuje się przedmioty na gotowe bez stosowania dalszych operacji wykańczających. Materiał automatowy powinna zatem charakteryzować możliwość uzyskania również żądanej, często wysokiej dokładności wymiarowej przedmiotów obrabianych oraz wysokiej jakości ich powierzchni. Mała

chropowatość powierzchni powinna być przy tym osiągnięta bez uciekania się do stosowania nadmiernie małych posuwów obniżających wydajność skrawania.

W związku, z pokrótce przedstawionymi wymaganiami dotyczącymi stali automatowych, przy ocenie ich skrawalności podstawowe znaczenie posiadają następujące użytkowe wskaźniki:

- a) wskaźnik zużycia ostrza, określane zwykle okresem szybkością skrawania lub okresem trwałości ostrza,
- b) wskaźnik rodzaju wiórów, określane zwykle kształtem wiórów,
- c) wskaźnik jakości powierzchni toczonej, określane zwykle wysokością chropowatości Rz lub Ra, a także wskaźnik jakości powierzchni nacinanego gwintu.

W różnych zakresach parametrów skrawania poszczególne wskaźniki mogą przyjmować różne wartości. Istotne znaczenie posiadają wartości wskaźników występujące w zakresie takich warunków skrawania oraz przy użyciu takich narzędzi, jakie są stosowane w praktyce ze względów technologicznych oraz ze względu na możliwości kinematyczne automatów. Stal automatowa będzie oceniona ogólnie jako tym lepiej skrawalna, gdy w zakresie stosowanych w praktyce warunków obróbki wykazywać będzie coraz to korzystniejszy zestaw wszystkich trzech podstawowych wskaźników skrawalności.

## 2. Rodzaje stali automatowych

Początkowo mianem stali automatowych obejmowano materiały o podwyższonej skrawalności, przeznaczone do wyrobu na automatach tokarskich i rewolwerówkach mało odpowiedzialnych części maszynowych. Z biegiem lat, w miarę rozwoju przemysłu, względnie na ekonomię wytwarzania stworzył potrzebę stosowania dobrze skrawalnych stali również do wyrobu części maszynowych, w stosunku do których stawia się wyższe wymagania w zakresie własności wytrzymałościowych lub też własności specjalnych. Powstał w związku z tym cały szereg stali automatowych o polep-

szanej skrawalności. Ogólnie można je podzielić na następujące grupy [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7]:

I. Stale węglowe, zwykle o zawartości węgla poniżej 0,15%, przeznaczone do masowego wyrobu części, od których nie wymaga się podwyższonych własności wytrzymałościowych ani też zwiększonej odporności na ścieranie.

II. Stale węglowe do nawęglania.

III. Stale węglowe do ulepszenia cieplnego o zawartości węgla w granicach do 0,6%.

IV. Stale o wysokiej zawartości węgla rzędu 0,7-1%, stosowane chętnie w przemyśle zegarmistrzowskim i w budowie przyrządów precyzyjnych.

V. Stale stopowe do nawęglania i ulepszenia cieplnego, stosowane do wyrobu bardziej obciążonych części w przemyśle samochodowym, lotniczym i w innych gałęziach budowy maszyn.

VI. Stale odporne na korozję, nierdzewne i kwasoodporne, stosowane w budowie aparatury.

W poszczególnych krajach obejmowane są normami na razie stale wyszczególnione w pierwszych trzech grupach oraz niekiedy, jak np. w USA stale grupy VI. W tablicach od 1 do 5 przedstawiono przykładowo składy chemiczne stali grup I, II i III ujętych normami niektórych krajów europejskich i USA oraz stali automatowych, ujętych w projekcie ISO z 1966 r. [3, 4]. Wyszczególnione w tablicach stale nie wyczerpują wszystkich produkowanych gatunków. W wielu wysoko uprzemysłowionych krajach produkuje się szereg gatunków nie ujętych w normach, a występujących jedynie w programach produkcyjnych hut lub uzgodnionych z odbiorcami. Tak na przykład wiadomo, że w USA produkuje się z dodatkiem ołowiu w ilości 0,15-0,35% nie tylko ujętą w normie stal C12L14, ale również większość gatunków stali węglowych serii SAE 1100 i 1000 [5]. W normach nie ujęte są również dotąd stale z dodatkiem teluru.

Polepszoną skrawalność stali automatowych grup I, II i III uzyskuje się dzięki zwiększonej zawartości siarki i fosforu

## Stale automatowe ujęte w normie SAE i AISI - U.S.A. [4]

Znak stali wg SAE	AISI	Skład chemiczny w %					Względny wskaznik skrawalności	
		C	Si	Mn	P	S		Pb
* 111	B111 C1211	< 0,13		0,6 - 0,9	0,07 - 0,12	0,08 - 0,15		95
* 112	B112 C1212	< 0,13		0,7 - 1,0	0,07 - 0,12	0,16 - 0,23		100
* 113	B113 C1213	< 0,13		0,7 - 1,0	0,07 - 0,12	0,24 - 0,33		135
* 12L14	C12L14	< 0,15		0,8 - 1,2	0,04 - 0,09	0,25 - 0,35	0,15 - 0,55	160
1108	C1108	0,08 - 0,13	Zwykle	0,5 - 0,8	0,04	0,08 - 0,13		80
1109	C1109	0,08 - 0,13	< 0,10	0,6 - 0,9	0,04	0,08 - 0,13		80
1115	C1115	0,13 - 0,18	Zwykle lub 0,10 - 0,20 wzależnie 0,15 - 0,30	0,6 - 0,9	0,04	0,08 - 0,13		80
1117	C1117	0,14 - 0,20		1,0 - 1,3	0,04	0,08 - 0,13		90
1118	C1118	0,14 - 0,20		1,3 - 1,6	0,04	0,08 - 0,13		85
1119	C1119	0,14 - 0,20		1,0 - 1,3	0,04	0,24 - 0,33		100
1120	C1120	0,16 - 0,23		0,7 - 1,0	0,04	0,08 - 0,13		80
1126	C1126	0,23 - 0,29		0,7 - 1,0	0,04	0,08 - 0,13		80
1132	C1132	0,28 - 0,34		1,35 - 1,65	0,04	0,08 - 0,13		75
1137	C1137	0,32 - 0,39		1,35 - 1,65	0,04	0,08 - 0,13		70
1138	C1138	0,34 - 0,40		0,7 - 1,0	0,04	0,08 - 0,13		75
1139	C1139	0,35 - 0,43		1,35 - 1,65	0,04	0,12 - 0,20		
1140	C1140	0,37 - 0,44		0,7 - 1,0	0,04	0,08 - 0,13		70
1141	C1141	0,37 - 0,45		1,35 - 1,65	0,04	0,08 - 0,13		70
1144	C1144	0,41 - 0,48		1,35 - 1,65	0,04	0,24 - 0,33		80
1145	C1145	0,42 - 0,49		0,7 - 1,0	0,04	0,04 - 0,07		65
1146	C1146	0,42 - 0,49		0,7 - 1,0	0,04	0,08 - 0,13		70
1151	C1151	0,48 - 0,55	0,7 - 1,0	0,04	0,08 - 0,13		65	

x - mogą być stalami besemerowskimi, elektrycznymi lub martenowskimi

Tablica 2

## Polskie stale automatowe wg PN-57/H-84026 [3]

Znak stali	Skład chemiczny w %						Uwagi	Względny wskaźnik skrawalności
	C	Si	Mn	P	S	Pb		
A10	0,07-0,14	max. 0,15	0,60-0,90	0,06-0,013	0,15-0,30	—	Skład chemiczny orientacyjny	~80
A12	0,08-0,16	0,15-0,35	0,60-0,90	0,08-0,15	0,08-0,20	—	Przy niższej zawartości fosforu od 0,1% zawartość manganu - 0,2%	

Tablica 3

## Stale automatowe wg DIN 1651 - (1960r) [3]

Znak stali	Skład chemiczny w %						Uwagi	Względny wskaźnik skrawalności
	C	Si	Mn	P	S	Pb		
9S20	≤ 0,12		0,50-0,90	0,035-0,10	0,20-0,27		Zasadniczo stale tomasonskie	100
9SPb23	≤ 0,12		0,50-0,90	0,035-0,10	0,20-0,27	0,15-0,30		
9SMn23	≤ 0,13		0,90-1,30	0,035-0,10	0,20-0,27			
9SMnPb23	≤ 0,13		0,90-1,30	0,035-0,10	0,20-0,27	0,15-0,30		
10S20	0,06-0,12	0,1-0,4	0,50-0,90	≤ 0,07	0,18-0,26		Zasadniczo stale martensowskie przeznaczone do nawęglania	80-85
15S20	0,12-0,18	0,1-0,4	0,50-0,90	≤ 0,07	0,18-0,26			
22S20	0,18-0,25	0,1-0,4	0,50-0,90	≤ 0,07	0,15-0,25		Zasadniczo stale martensowskie przeznaczone do utwardzania cieplnego	75
35S20	0,32-0,40	0,1-0,4	0,50-0,90	≤ 0,07	0,15-0,25			65-70
45S20	0,42-0,50	0,1-0,4	0,50-0,90	≤ 0,07	0,15-0,25			60-65
60S20	0,57-0,65	0,1-0,4	0,50-0,90	≤ 0,07	0,15-0,25			50-60

Tablica 4

Stale automatowe wg. projektu normy A35-561 i A35-562 - Francja - 1966 [3]

Znak stali	Skład chemiczny w %						Uwagi
	C	Mn	Si	P	S	Pb	
A37Fb2							A35-561 Stale ogólnego użytku włączona na gorąco, przeznaczona do obróbki na zimnymetalach
A42Pb2	≤ 0,20						
A50Pb2				≤ 0,06	≤ 0,05	0,20-0,30	
A60Pb2							
A70Pb2							
S200	≤ 0,13	0,7-1,2	≤ 0,08	≤ 0,11	0,20-0,27		
S250	≤ 0,14	0,9-1,5	≤ 0,08	≤ 0,11	0,25-0,32		
S300	≤ 0,15	1,0-1,6	≤ 0,08	≤ 0,11	0,30-0,40		
S200Pb	≤ 0,13	0,7-1,2	≤ 0,08	≤ 0,11	0,20-0,27		
S250Pb	≤ 0,14	0,9-1,5	≤ 0,08	≤ 0,11	0,25-0,32	0,20-0,30	
S300Pb	≤ 0,15	1,0-1,6	≤ 0,08	≤ 0,11	0,30-0,40		
10Pb2	0,05-0,15	0,3-0,6	≤ 0,30	≤ 0,04	≤ 0,04	0,15-0,30	A35-562 Stale specjalne do obróbki cieplnej, przeznaczone do obróbki na automatach
20Pb2	0,15-0,25	0,4-0,7	0,1-0,4	≤ 0,04	≤ 0,04	0,15-0,30	
35Pb2	0,30-0,40	0,5-0,8	0,1-0,4	≤ 0,04	≤ 0,04	0,15-0,30	
10F2	0,08-0,14	0,5-0,75	0,1-0,4	≤ 0,06	0,12-0,24		
20F2	0,15-0,22	0,5-0,8	0,1-0,4	≤ 0,06	0,12-0,24		
12MF4	0,09-0,15	0,9-1,2	0,1-0,4	≤ 0,06	0,12-0,24		
35MF4	0,32-0,38	1,0-1,3	0,1-0,4	≤ 0,06	0,12-0,24		
10PbF2	0,08-0,14	0,5-0,75	0,1-0,4	≤ 0,06	0,12-0,24	0,15-0,30	

Stale automatowe wg. projektu ISO - Sztokholm 1966r Tablica 5

Oznaczenie stali	Skład chemiczny w %						Uwagi
	C	Si	Mn	P	S	Pb	
1	≤ 0,13	≤ 0,05	0,60-1,00	≤ 0,10	0,18-0,25		Stale ogólnego użytku nie przewidziane do obróbki cieplnej.
2	≤ 0,14	≤ 0,05	0,90-1,30	≤ 0,10	0,24-0,32		
2a	≤ 0,14	≤ 0,05	0,90-1,30	≤ 0,10	0,24-0,32	0,15-0,35	
3	≤ 0,15	≤ 0,05	1,00-1,50	≤ 0,10	0,30-0,40		
3a	≤ 0,15	≤ 0,05	1,00-1,50	≤ 0,10	0,30-0,40	0,15-0,35	
4	0,08-0,14	0,10-0,40	0,60-0,90	≤ 0,06	0,15-0,25		Stale do nawęglania
4a	0,08-0,14	0,10-0,40	0,60-0,90	≤ 0,06	0,15-0,25	0,15-0,35	
5	0,10-0,16	0,10-0,40	0,90-1,20	≤ 0,06	0,15-0,25		
6	0,14-0,20	0,10-0,40	0,60-0,90	≤ 0,06	0,15-0,25		
7	0,32-0,39	0,10-0,40	0,60-0,90	≤ 0,06	0,15-0,25		Stale do ulepszania cieplnego
8	0,32-0,39	0,10-0,40	1,30-1,65	≤ 0,06	0,15-0,25		
9	0,42-0,50	0,10-0,40	0,60-0,90	≤ 0,06	0,15-0,25		

oraz dzięki dodatkowi ołowiu. Istniejące tu możliwości oraz tendencje ilustruje dobrze projekt normy francuskiej, przedstawiony w tablicy 4. Przewiduje on w ramach grupy I: a) stale o niesprecyzowanym ściśle na razie w normie składzie chemicznym i polepszonej skrawalności dzięki dodatkowi ołowiu, b) stale o polepszonej skrawalności dzięki zwiększeniu zawartości siarki i fosforu, c) stale o polepszonej skrawalności dzięki zwiększeniu zawartości siarki i fosforu oraz dzięki dodatkowi ołowiu.

W niektórych normach przewidywane są stale o zbliżonych składach chemicznych, różniących się zawartością manganu, jak np. w normie SAE stal 1117 i 1118 lub 1137 i 1138, względnie w projekcie ISO stal 7 i 8. Zwiększenie ilości manganu nie wynika z potrzeb związanych z powiększeniem zawartości siarki, a ma na celu polepszenie przydatności stali dla obróbki cieplnej i stwarza szersze możliwości doboru materiału w zależności od wielkości i kształtu przedmiotu [1].

Stale wyszczególnione w grupach IV i V nie występują na razie w normach materiałowych poszczególnych krajów. Nie zawsze w związku z tym są one nazywane stalami automatowymi, mimo że posiadają cechy stali automatowych, to jest charakteryzują się polepszoną skrawalnością i są używane do wytwarzania części w dużych seriach często na obrabiarkach o cyklach automatycznych. Polepszoną skrawalność omawianych stali uzyskuje się przez zwiększenie zawartości siarki względnie coraz częściej przez dodatek ołowiu.

Stale grupy VI odporne na korozję, nierdzewne i kwasoodporne posiadają, obok składu zbliżonego do odpowiednich stali nieautomatowych, dodatki polepszające skrawalność takie jak siarka, selen względnie ołów.

Porównanie normy PN-57/H-84-026 z normami innych krajów wskazuje na wyjątkowo ograniczoną ilość gatunków krajowej stali automatowej. Polska norma przewiduje jedynie dwa gatunki, z których stal A10 ma odpowiadać grupie I zaś stal A12 grupie II. Równocześnie norma amerykańska przewiduje przeszło 20 gatunków stali automatowych grup I, II i III, norma DIN-



- 10 gatunków, norma GOST - 4 gatunki, norma TGL - 15 gatunków, norma angielska BS - przeszło 10 gatunków, norma włoska - 8 gatunków itp. Ograniczenie krajowych stali automatowych jedynie do dwóch gatunków nie daje możliwości właściwego doboru materiału i nie odpowiada aktualnym a tym bardziej perspektywicznym potrzebom przemysłu. Z braku szerszego asortymentu stali automatowych wiele części konstrukcyjnych wykonuje się na automatach ze zwykłych stali w sposób nieekonomiczny, co ostatecznie przynosi duże straty w skali krajowej.

### 3. Czynniki wpływające na skrawalność stali automatowych

Na przestrzeni wielu lat prowadzono i prowadzi się nadal w różnych krajach badania nad optymalizacją składu chemicznego oraz sposobu wytwarzania wysoko skrawalnych stali automatowych. Wnioski wypływające ze wspomnianych badań i doświadczeń przemysłowych można przedstawić następująco:

Według przeważających poglądów w miarę wzrostu zawartości węgla w stali automatowej obniża się jej skrawalność. W związku z tym w wysoko skrawalnych stalach automatowych grupy I zawartość węgla powinna być niska. Według niektórych źródeł nie powinna ona przekraczać 0,08% [8, 9, 10].

Krzem obniża wskaźnik zużycia ostrza na skutek ściierającego działania twardych krzemianów. W związku z tym, o ile możliwości nie powinien on występować w składzie stali automatowej grupy I [8, 9].

Mangan, tworząc wysoko topliwę siarczki manganu, przeciwdziała powstawaniu siarczku żelaza i nisko topliwę eutektyki FeS-Fe utrudniającej przeróbkę plastyczną na gorąco. Nadmiar wolnego manganu rozpuszczony w ferrycie powoduje wzrost twardości ferrytu, polepszając wskaźnik gładkości powierzchni [5, 8, 10, 11]. Według niektórych badań optymalna zawartość manganu w stali automatowej powinna wynosić 0,75-1,0 dla stali besemerowskiej i 1-1,3% w stalach martenowskich [8].

Siarka stanowi podstawowy składnik polepszający skrawalność stali automatowej [7, 8, 9, 11]. Tworząc siarczki powoduje ona nieciągłość materiału i zmniejsza współczynnik tar-

cia. W efekcie poprawia przede wszystkim wskaźnik zużycia ostrza i rodzaju wiórów. Przeciętnie przyjmuje się, że przyrost zawartości siarki o 0,01% powoduje wzrost wskaźnika okresowej szybkości skrawania dla stali martenowskiej o 1,5% [9, 11]. Istotny wpływ na skrawalność posiada rozkład, wielkość i kształt siarczków. W szczególności korzystne są większe wtrącenia o niewydłużonym owalnym kształcie [11, 12, 13].

Fosfor powoduje poprawę wskaźnika gładkości powierzchni i wpływa korzystnie na łamliwość wióra, równocześnie jednak wywołuje kruchość materiału [2, 5, 8, 9, 10]. W związku z tym jego zawartość nie przewyższa w stalach automatowych wartości około 0,12% i to przy zawartości węgla  $< 0,13\%$ .

Azot zmniejsza plastyczność ferrytu i wpływa korzystnie na wskaźnik gładkości powierzchni. Jego działaniu przypisuje się między innymi lepszą skrawalność stali konwertorowych od stali automatowych martenowskich [2, 6, 8, 14].

Aluminium, ze względu na jego ściernie działające tlenki, jest składnikiem niepożądanym w stalach automatowych, gdyż pogarsza wskaźnik zużycia ostrza [8, 15].

Najlepszy zestaw wskaźników skrawalności wykazują nieuspokojone stale automatowe tomasowskie i besemerowskie. Stale martenowskie nieuspokojone są na ogół gorzej skrawalne. Dalsze miejsca pod względem skrawalności zajmują stale martenowskie półuspokojone i uspokozone. Takie uszeregowanie stali automatowych przypisuje się wspomnianym wpływom azotu, ściernemu działaniu związków krzemu i aluminium oraz przepłukującemu działaniu gazów, które sprzyja wypływowi dużej części niemetalicznych wtrąceń do głowy wlewka [6, 8].

Ze względu na wspomniany wpływ sposobu wytwarzania stali na jej skrawalność, wysoko skrawalne stale automatowe grupy I wytwarzane są jako stale nieuspokojone, najczęściej konwertorowe. Stale automatowe do nawęglania i ulepszania grupy II i III wytwarzane są jako stale uspokozone najczęściej martenowskie.

Celem uzyskania bardziej równomiernego rozłożenia siarczków a dzięki temu bardziej równomiernej skrawalności na prze-

kroju poprzecznym pręta, wlewki ze stali nieuspokojonej powinny być małe, przy czym wlewnice powinny posiadać odpowiedni kształt [7, 8, 11].

Zgniot przy ciągnięciu stali polepsza jej skrawalność głównie w zakresie wskaźnika gładkości powierzchni.

Ilustrację wpływu składu chemicznego na skrawalność stali automatowych mogą stanowić względne wskaźniki okresowej szybkości skrawania, uwidocznione w tablicy 1, 2 i 3. Dla stali amerykańskich zestawiono je według Metals Handbook [4] względem stali B1112, dla której przyjęto wartość wskaźnika równą 100. Dla stali ujętych normą DIN podano je według Andrieu [7], przyjmując wartość wskaźnika równą 100 dla stali 9S20. Względem tej stali wyznaczono również w Katedrze Obróbki Skrawaniem Politechniki Śląskiej [16, 17] wartość wskaźnika dla stali A10.

Jak można zauważyć, stal A10 charakteryzuje się znacznie gorszym wskaźnikiem okresowej szybkości skrawania od stali 9S20. Badania wykazały [16], że ustępuje ona również stali 9S20 pod względem wskaźnika jakości powierzchni a także rodzaju wiórów. Niższą skrawalność stali krajowej należy przypisać nie tylko jej składowi chemicznemu a przede wszystkim niższej w praktyce zawartości siarki, ale także niewątpliwie różnemu sposobowi wytwarzania. Jest ona produkowana jako stal martenowska zwykle uspokojena, podczas gdy stal 9S20 jest stalą nieuspokojoną i zasadniczo uzyskiwaną w procesie temasowskim [3].

Niska skrawalność stali A10 powoduje w zakładach użytkujących tę stal obniżenie wydajności, wzrost ilości braków oraz zwiększenie kosztów produkcji. Biorąc pod uwagę, że reprezentuje ona stale automatowe grupy I, w stosunku do których istnieje największe zapotrzebowanie w przemyśle, zachodzi pilna potrzeba polepszenia jej skrawalności.

#### 4. Stale automatowe z dodatkiem ołowiu i teluru

Opanowanie technologii wprowadzania ołowiu do stali stworzyło możliwości dalszego polepszania skrawalności stali automato-

wych. Stale zawierające ołów wprowadzono najpierw w USA [11]. Po wojnie produkcję stali z ołowiem podjęła również według licencji Japonia oraz uprzemysłowione kraje Europy zachodniej, jak Anglia, Francja i NRF. Jako przykład rozpowszechnienia stali automatowej z ołowiem może służyć produkcja stalowni Lysgh't's Scuntorpe Works w Anglii, która wytwarza rocznie 100 000 ton stali automatowej z ołowiem, co stanowi 2/3 ogólnej produkcji stali automatowej w tym zakładzie.

Ołów jest nierozpuszczalny w stali i występuje przy dobrym rozproszczeniu w postaci submikroskopijnych wtrąceń. Jedynie przy większych zawartościach od około 0,5% tworzy większe skupienia [8]. Jego wpływ na skrawalność polega na działaniu smarującym, przez co zmniejsza się współczynnik tarcia a w konsekwencji temperatura i siły skrawania a także zużycie ostrza. Stale zawierające ołów charakteryzują się w związku z tym lepszym wskaźnikiem okresowej szybkości skrawania, polepszoną gładkością powierzchni obrobionej i korzystnym rodzajem wióra. Do stali automatowych ołów dodaje się zwykle w ilości około 0,15 do 0,2%. Może on być dodawany do stali automatowych węglowych nieuspokojonych i uspokoionych o małej i zwiększonej zawartości siarki oraz do stali stopowych przeznaczonych do nawęglania i ulepszania.

W szczególności duże efekty uzyskuje się przez dodawanie ołowiu do stali automatowych o zwiększonej zawartości siarki. Podany w tablicy 1 względny wskaźnik skrawalności amerykańskiej stali martenowskiej C12L14 wynosi 160, podczas gdy analogiczny wskaźnik dla bardzo dobrze skrawalnej stali konwertorowej B1113, zawierającej tylko znacznie zwiększoną ilość siarki wynosi 135.

Przez dodatek ołowiu do stali stopowych uzyskuje się również znaczną poprawę skrawalności. Np. zastąpienie standardowej stali SAE 8620 stalą 86L20 zawierającą ołów pozwala na 2-krotne zwiększenie szybkości skrawania i posuwu przy toczeniu na automatach [5].

Wytwarzanie stali z ołowiem następuje duże trudności. Ołów posiada większy ciężar właściwy od stali, w związku z czym

równomierne jego rozłożenie we wlewkę jest utrudnione. Obok tego posiada on niską temperaturę topności i w temperaturach odlewania mocno paruje. Dodaje się go zwykle do strumienia stali w postaci rozdrobnionej o wielkości ziarna rzędu 0,2 mm. Ponieważ pary ołowiu są trujące, trzeba stosować odpowiednie zabezpieczenia, konieczne ze względu na bezpieczeństwo pracy.

Mimo, że stale zawierające obok zwiększonej zawartości siarki również ołów są lepiej skrawalne od stali zawierających tylko zwiększoną zawartość siarki, oba rodzaje stali automatowych używane są na równi w krajach wysoko uprzemysłowionych. O wyborze materiału decydują względy ekonomiczne. Stosowanie droższych stali z ołowiem (np. w Anglii o około 10%) opłaca się w szczególności wtedy, gdy w czasie obróbki usuwa się przez skrawanie większe ilości materiału. Zmniejszenie kosztu obróbki, spowodowane lepszą skrawalnością tych stali wyrównuje wówczas względnie przewyższa zwiększony koszt materiału.

Dalszym dodatkiem stosowanym w stali przemysłowej celem polepszenia skrawalności stali automatowych jest telur. Stale automatowe o zwiększonej zawartości siarki z dodatkiem ołowiu i teluru produkowane są w Europie przez niektóre stalownie angielskie, francuskie i niemieckie, jak np. hutę Le Chier względnie Hüttenwerk-Oberhausen lub Phönix-Rheinrohr. Oznaczają się one korzystniejszym wskaźnikiem trwałości ostrza oraz bardzo dobrym wskaźnikiem gładkości powierzchni.

Jako przykład omawianych stali może służyć stal BXT, produkowana we Francji o składzie: 0,10% C, 1,20% Mn, 0,280% S, 0,22% Pb, 0,055% Te. Według danych reklamowych przy obróbce tej stali można stosować szybkości skrawania do 150 m/min.. Badania przeprowadzone w Laboratorium Inland Steel Co (wg metody opracowanej przez ośrodek badawczy Armour Research Foundation) [18] nad skrawaniem stali 12L14 wykazały znaczny wzrost trwałości ostrza przy obróbce tej stali po wprowadzeniu do niej teluru. W badaniach laboratoryjnych jako zastępczy wskaźnik skrawalności przyjęto objętość skrojonego materiału do momentu spalania ostrza przy wcinaniu nożem ze stali szybko tnącej rówków o głębokości 12,7 mm i szerokości 3,18 mm.

Przy prędkości 94,2 m/min mierzonej na średnicy zewnętrznej toczonych próbek oraz posuwie poprzecznym 0,023 mm/obr uzyskano wskaźniki uwidocznione w tabelicy 6. Jak widać, dodatek ołowiu do stali podstawowej w ilości 0,20% zwiększył wskaźnik objętości a więc i trwałość ostrza około 7,5 razy. Dodatek 0,20% Pb oraz 0,040% Te spowodował wzrost wskaźnika 10-krotny.

**Tablica 6**

***Wpływ dodatku teluru na skrawalność stali 12L14 [16]***

<i>Materiał obrabiany</i>	<i>Objętość skrojonego materiału do momentu spalania ostrza w cm<sup>3</sup> przy szybkości skraw. 94,2 m/min</i>	<i>Względny wskaźnik</i>
<i>stal podstawowa o składzie: 0,08% C; 0% Si; 1% Mn; 0,01% P; 0,35% S</i>	24,7	100
<i>Stal podstawowa + 0,20% Pb</i>	183	750
<i>Stal podstawowa + 0,20% Pb + 0,040% Te</i>	247	1000

Podane wyniki potwierdziły badania przeprowadzane w warunkach przemysłowych przy obróbce konkretnych przedmiotów na automacie. Wykazały one, że przy szybkości skrawania 106–130 m/min stali ciągniętej 12L14 zawierającej telur, trwałość ostrza jest wyższa o 30–40%. W miarę zmniejszania się szybkości skrawania różnice trwałości ostrza przy obróbce stali bez dodatku i z dodatkiem teluru stają się coraz większe. Dodatek teluru bez ołowiu powoduje stosunkowo nieduże podwyższenie wskaźnika trwałości ostrza.

## 5. Wnioski

Porównanie polskich stali automatowych ze stalami produkowanymi w innych uprzemysłowionych krajach wskazuje na wyjątkowo ograniczoną ilość gatunków stali krajowej. Ograniczenie stali produkowanych w kraju do dwóch gatunków nie daje możliwości racjonalnego doboru stali dla produkcji na automatach tokarskich a także innych obrabiarkach.

Skrawalność krajowych stali automatowych a w szczególności stali A10 jest niezadowalająca. Zła skrawalność powoduje powstawanie znacznej ilości braków, obniża wydajność i powoduje wzrost kosztów produkcji.

Celem stworzenia warunków dla szerszego stosowania w przemyśle stali automatowych i zapewnienia związanych z tym realnych korzyści należy odpowiednio rozszerzyć gamę krajowych stali automatowych oraz polepszyć skrawalność stali istniejących. W związku z tym wydaje się celowym rozważenie możliwości wprowadzenia w kraju produkcji stali z dodatkiem ołowiu. Przystrojenie w hutnictwie technologii wprowadzania ołowiu do stali stworzyłoby warunki do uzyskania stali automatowych martenowskich o skrawalności odpowiadającej poziomowi światowemu.

## LITERATURA

- [1] Vouga C.: Les aciers de décolletage. Revue de Metallurgie, XLIX, nr 6, 1952 r. str. 393-406.
- [2] Krüger A.: Automatenstähle. Werkstoff Handbuch Stahl und Eisen. Düsseldorf 1953, str. Q 61/2 - Q 61/4.
- [3] Normy: PN-57/H-84026, DIN 1651 (1960 r.), GOST 1414-54, TGL 12529 (NRD-1963 r.), UNI 4838 (Włochy-1962 r.), BS 3141 (Anglia-1959 r.), projekt normy francuskiej A35-561 i A35-562 (1966 r.).
- [4] Metals Handbook wyd. 8. 1961 r. str. 62.
- [5] The Selection of Steel for Economy in Machining, Metals Handbook, wyd. 8. 1961 r. str. 302-316.
- [6] Bečvář J.: Je nutné zavádět výrobu automatových oceli s olovem v ČSSR? HUTNIK č XV, nr 5, 1965 r. str. 218-223.
- [7] Andrieu O.: Über die Zusammensetzung und Eigenschaften von Automatenstählen. Werkstattstechnik und Maschinenbau, 45, nr 1, 1955 r. str. 10-14.
- [8] Müller H.: Die Zerspanbarkeit von Automatenstahl. Stahl und Eisen, 75, nr 18, 1955 r. str. 1171-1175.
- [9] Paliwoda E.J.: The influence of chemical composition on the machinability of rephosphorized open hearth screw steel. Trans. ASM, 47, 1955 r. str. 684-690.

- [10] Bading W.: Bessemer-Automatenstahl in den Vereinigten Staaten von Amerika. Stahl und Eisen, 71, nr 5, 1951 r. str. 257-258.
- [11] Bečvář J.: Problémy s výrobou automatové oceli o vysoké obrobitelnosti. HUTNIK 8, XVI nr 3, 1966 r. str. 119-124.
- [12] Van Vlack L.H.: Correlation of machinability with inclusion characteristics in resulfurized bessemer steels. Trans. ASM, 45, 1953 r. str. 741-757.
- [13] Radtke D., Schreiber D.: Einfluss der Sulfidausbildung auf die Zerspanbarkeit von Automatenstählen. Stahl und Eisen, 86, nr 2, 1966 r. str. 89-99.
- [14] Ulbricht W.: Zerspanbarkeits-Untersuchungen an dünnen Werkstoffstangen. (praca doktorska) 1939 r. Technische Hochschule München.
- [15] Schepers A., Krauss R.: Zerspanungseigenschaften bleihaltiger und bleifreier Automatenstähle. Stahl und Eisen, 68, nr 5/6, 1948 r. str. 90-92.
- [16] Szyrajew J., Błaszczak M., Dąbrowski J.: Badania wpływu technologii wytapiania, sposobu wyżarzania oraz stopnia zgniotu przy ciągnienu na skrawalność stali A10. Praca N-55/M-5/4/63, Katedra Obróbki Skrawaniem Politechniki Śląskiej, 1964 r.
- [17] Szyrajew J., Błaszczak M., Dąbrowski J.: Badania skrawalności stali automatowej A10N oraz automatowych stali importowanych. Praca NB-205/154 M5/9/1/65, Katedra Obróbki Skrawaniem Politechniki Śląskiej, 1966 r.
- [18] Lambert W.N., Madrzyk E.S., Geiger L.J.: A new test for evaluating machinability of hot-rolled steel, Ekspres-Infornacja, Rieżuszczizje Instrumenty nr 10, 1965 r.

#### АВТОМАТНЫЕ СТАЛИ И ИХ ОБРАБАТЫВАЕМОСТЬ РЕЗАНИЕМ

#### Р е з ю м е

Обсуждены требования предъявляемые автоматным сталям относительно их обрабатываемости резанием и показатели её оценки. Произведен обзор автоматных марок сталей и на основании данных из литературы пытались пояснить влияние химического состава и режима производства на их обрабатываемость резанием. Приведены выводы относительно необходимости улучшения обрабатываемости резанием и дальнейшего развития автоматных сталей ПНР



## FREE-CUTTING STEELS AND THEIR MACHINABILITY

## S u m m a r y

This article deals with requirements for good machining of free-cutting steels and gives indices for determination of their machinability. It surveys the types of free-cutting steels based on adequate literature, as well as influence of chemical constitution and processing on the machinability of free-cutting steels. The article presents the proposals for the improvement of free-cutting steel production in Poland.