

## 2. Spiekane stale narzędziowe

### 2.1. Struktura i własności spiekanych stali narzędziowych stopowych

#### **STRUKTURA I WŁASNOŚCI SPIEKANYCH STALI NARZĘDZIOWYCH STOPOWYCH, W TYM SZYBKOTNĄCYCH**

Spora część stali narzędziowych stopowych jest wytwarzana rozwiniętymi metodami metalurgii proszków. W ten sposób wytwarza się głównie spiekane stale szybko tnące, ale także stale narzędziowe stopowe do pracy na zimno oraz niektóre stale na matryce do przetwórstwa materiałów polimerowych. Stale wytworzone tą technologią, w tym głównie spiekane stale szybko tnące, cechują się o wiele bardziej równomierną strukturą od gatunków konwencjonalnych.

W spiekanych stalach szybko tnących nie ujawnia się segregacja węglików, gdyż nie występują w nich duże węgliki, które w stalach konwencjonalnych pochodzą z węglików dendrytycznych rozbitych w trakcie obróbki plastycznej. Równomierna struktura ułatwia obróbkę cieplną spiekanych stali narzędziowych, w tym szybko tnących i zapewnia znaczną izotropowość tych stali w stanie obrobionym cieplnie.

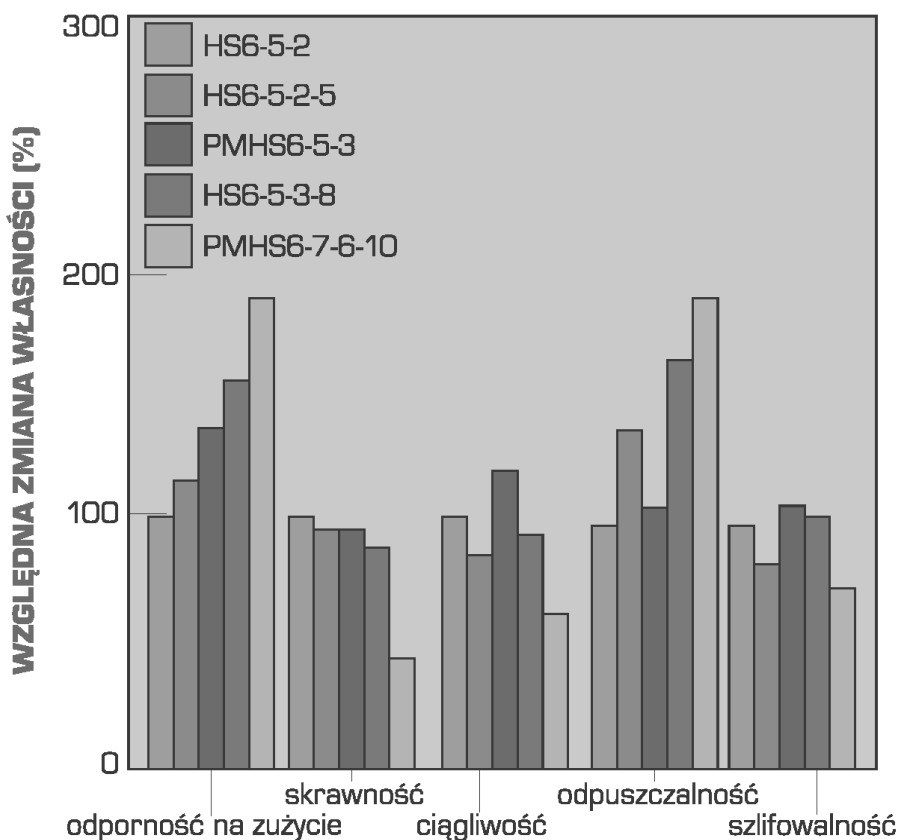
Spiekane stale szybko tnące są poddawane obróbce cieplnej, polegającej na hartowaniu i co najmniej dwukrotnym odpuszczaniu, analogicznej jak stale konwencjonalne. Podczas obróbki tej w stalach spiekanych zachodzą analogiczne przemiany fazowe, jak w stalach konwencjonalnych o identycznym składzie chemicznym. Temperatura austenitowania poszczególnych gatunków stali spiekanych jest niższa o 30-40°C od odpowiedniej temperatury dla stali konwencjonalnych o zbliżonym składzie chemicznym. Decyduje o tym większe stężenie węgla w stalach spiekanych i ich technologia wytwarzania. Temperatura nadtopienia spiekanych stali szybko tnących jest niższa niż stali konwencjonalnych o analogicznym składzie chemicznym, co też wpływa na obniżenie temperatury austenitowania.

Spiekane stale szybko tnące są również poddawane obróbce cieplno-chemicznej, głównie azotowaniu, węgloazotowaniu i zabiegom pokrewnym, analogicznie jak stale otrzymywane konwencjonalnie. Zabiegi te zapewniają polepszenie własności eksploatacyjnych narzędzi wytworzonych ze spiekanych stali szybko tnących.

Spiekane stale szybko tnące, w porównaniu ze stalami konwencjonalnymi, wykazują wiele korzystnych własności technologicznych (rys. 2.1):

- dobrą plastyczność,
- dobrą obrabialność mechaniczną,
- bardzo dobrą szlifowalność,
- dużą stabilność wymiarową po hartowaniu i odpuszczaniu,
- w przeważającej liczbie przypadków lepsze własności użytkowe.

Spiekane stale narzędziowe stopowe również wykazują korzystniejsze własności technologiczne i eksploatacyjne od analogicznych stali wytworzonych konwencjonalnie.



*Rysunek 2.1. Porównanie podstawowych własności wybranych konwencjonalnych i spiekanych stali szybko tnących*

Narzędzia wykonane ze spiekanych stali szybko tnących mają lepsze własności skrawne od wykonanych ze stali konwencjonalnych o analogicznym składzie chemicznym, szczególnie w przypadku obróbki stali trudno obrabialnych i przy większej szybkości skrawania. Wskaźniki zwiększania własności użytkowych kształtują się różnie w zależności od rodzaju narzędzia, warunków prób, a w tym głównie od wytrzymałości materiału obrabianego.

Własności narzędzi wykonanych ze spiekanych stali szybko tnących ulegają zwiększeniu o kilkadziesiąt do kilkaset procent w miarę zwiększania warunków skrawania. Narzędzia ze spiekanych stali szybko tnących wykazują przy tym bardziej równomierną skrawność w porównaniu z narzędziami ze stali konwencjonalnych.

### **ZASTOSOWANIE SPIEKANYCH STALI SZYBKOTNĄCYCH**

Spiekane stale szybko tnące są głównie przeznaczone na narzędzia skrawające do obróbki materiałów trudno obrabialnych, jak np. stali stopowych, stali o dużej wytrzymałości i stali konstrukcyjnych ulepszonych cieplnie, do obróbki wykończającej z zastosowaniem narzędzi pracujących z dużą wydajnością, automatycznej obróbki skrawaniem, przy wymaganych zwiększonych współczynnikach niezawodności pracy narzędzi, a więc głównie na narzędzia montowane w obrabiarkach sterowanych numerycznie, w centrach i liniach obróbkowych oraz obrabiarkach zespolonych.

Spiekane stale szybko tnące są szczególnie przydatne jako materiał na narzędzia o bardzo dużych wymiarach i masie oraz złożonym kształcie, np. na frezy ślimakowe, które nie mogą być wykonane jako składane. W przypadku narzędzi o dużych wymiarach i zmiennych przekrojach zaznacza się wyraźna różnica trwałości spiekanych stali szybko tnących i stali konwencjonalnych. Przy kosztach wytwarzania ok. dwu-, trzykrotnie większych, trwałość narzędzi ze stali spiekanych może być większa nawet kilkunastokrotnie, co jest ekonomicznym uzasadnieniem zastosowania takiego materiału.

Wobec większych kosztów wytwarzania spiekanych stali szybko tnących, zawsze o zastosowaniu ich na jakiegokolwiek narzędzia musi decydować rachunek ekonomiczny. Jako główny wskaźnik należy przy tym uwzględnić koszt narzędzia na jednostkę wytworzonego nim produktu. Pomocniczy może być wskaźnik częstotliwości zatrzymań linii produkcyjnej z powodu konieczności wymiany uszkodzonego narzędzia na jednostkę wytworzonego produktu.

## 2.2. Technologie spiekanych stali szybko tnących

### **METODY WYTWARZANIA SPIEKANYCH STALI NARZĘDZIOWYCH, W TYM SZYBKOTNĄCYCH**

Metody technologiczne produkcji stali narzędziowych stopowych, w tym szybko tnących z proszków można podzielić na dwie grupy:

- specjalistyczne lub klasyczne metody metalurgii proszków, pozwalające na wytwarzanie gotowych narzędzi lub półproduktów i produktów o kształcie zbliżonym do końcowego,
- kombinację technologii metalurgii proszków i konwencjonalnej obróbki plastycznej, w wyniku której uzyskuje się wielkogabarytowe bloki, kęsy lub pręty, z których metodami obróbki skrawaniem są wykonywane gotowe narzędzia.

Stal o odpowiednim składzie chemicznym jest zwykle wytapiana w piecu indukcyjnym średniej częstotliwości. Ciekły metal z pieca jest wylewany do kadzi, w której jest transportowany i przelewany do tygła umieszczonego na szczycie kilkunastometrowej komory, chociaż w niektórych metodach może być ona usytuowana poziomo. Przez centryczny otwór ciekły metal spływa do komory, do której równocześnie jest wprowadzany gaz obojętny lub woda. Podstawowa metoda otrzymywania proszku polega na rozpylaniu ciekłej stali narzędziowej, w tym szybko tnącej:

- gazami obojętnymi (głównie azotem, niekiedy argonem lub helem) albo
- wodą.

Otrzymany w wyniku tego proszek o składzie chemicznym odpowiadającym gotowej stali jest półproduktem do wytwarzania spiekanych stali narzędziowych, w tym szybko tnących.

### **METODY OTRZYMYWANIA PROSZKÓW STALI NARZĘDZIOWYCH, W TYM SZYBKOTNĄCYCH**

Proszki rozpylone z fazy ciekłej gazami obojętnymi cechują się kształtem kulistym o średnicy 0,01-1 mm, stężeniem tlenu większym niż 0,01% oraz dobrą sypkością, lecz niekorzystną prasowalnością. Gaz rozpyla spływający strumień metalu na bardzo drobne krople, które opadając na dno komory są studzone gazem i krzepną w postaci ziarn. Uzyskany w ten sposób proszek jest przesiewany w celu usunięcia ziarn zbyt dużych. Dobierając

odpowiednio warunki rozpylania, tj. temperaturę i masę ciekłego metalu oraz ciśnienie i natężenie przepływu gazu, można regulować skład ziarnowy i wielkość ziarn.

Proszki otrzymane przez rozpylanie wodą cieczy metalicznej mają kształt strzępiasty o rozwiniętej powierzchni i dobrą prasowalność. W porównaniu z rozpylanymi gazami obojętnymi proszki te wykazują 20- do 50-krotnie większe stężenie tlenu. Rozpylanie wodą jest wielokrotnie tańsze od rozpylania gazami obojętnymi o dużej czystości.

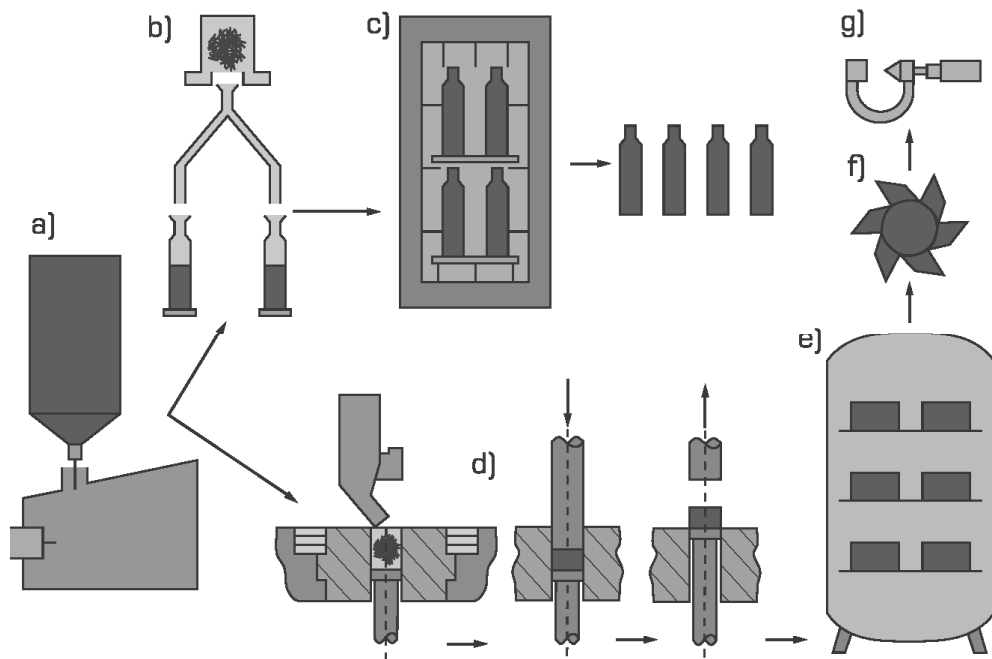
Proszek uzyskany przez rozpylenie wodą bardzo często jest poddawany dalszemu rozdrobniению metodami mechanicznymi. W przypadku stali szybko tnących oprócz grubego proszku uzyskanego w wyniku rozpylenia wodą ciekłej stali, mechanicznemu rozdrabnianiu są poddawane także odpady drutów, odcinki blach i wióry z tych stali o wielkości 2-5 mm. W metodzie The Coldstream Process rozdrabniany materiał jest wprowadzany do urządzenia, w którym jest transportowany za pomocą sprężonego powietrza lub azotu o ciśnieniu min. 7 MPa. Następnie, materiał ten jest przyspieszany do prędkości odpowiadającej liczbie Macha  $M = 1$  i kierowany na płytę pancerną w komorze rozprężnej, w której panuje ciśnienie ok. 10 Pa. W wyniku tego materiał rozbija się na proszek o średniej wielkości ziarna ok. 10  $\mu\text{m}$ . W innych metodach materiał wsadowy w postaci odcinków drutu, blach, wiórów lub grubego proszku (uzyskanego przez rozpylanie wodą) może być mielony w młynach wibracyjnych lub kulowych przez kilka do kilkudziesięciu godzin w obecności aktywizującego 10% roztworu kwasu oleinowego w czterochlorku węgla  $\text{CCl}_4$ . Metoda polegająca na mieleniu wibracyjnym proszku uzyskanego uprzednio przez rozpylanie wodą ciekłej stali narzędziowej stopowej, w tym szybko tnącej, zapewnia otrzymanie proszku o wielkości ziarna 1-2  $\mu\text{m}$ , rozwiniętej powierzchni i bardzo dobrze prasowalnego.

## **METODY METALURGII PROSZKÓW WYTWARZANIA GOTOWYCH NARZĘDZI LUB PÓLPRODUKTÓW O KSZTAŁCIE ZBLIŻONYM DO KOŃCOWEGO**

Otrzymywanie spieków kształtowych ze stali szybko tnących, charakteryzujących się bardzo dużym stopniem zagęszczenia, umożliwia metoda CMII amerykańskiej firmy Consolidated Metallurgical Industries Incorporation. Proszek uzyskany w wyniku rozpylania wodą ciekłej stali szybko tnącej jest dodatkowo rozdrabniany mechanicznie (rys. 2.2). Gotowe narzędzia są wykonywane przez klasyczne prasowanie proszku w matrycach na zimno. Narzędzia duże i smukłe oraz o skomplikowanych kształtach są poddawane prasowaniu izostatycznemu

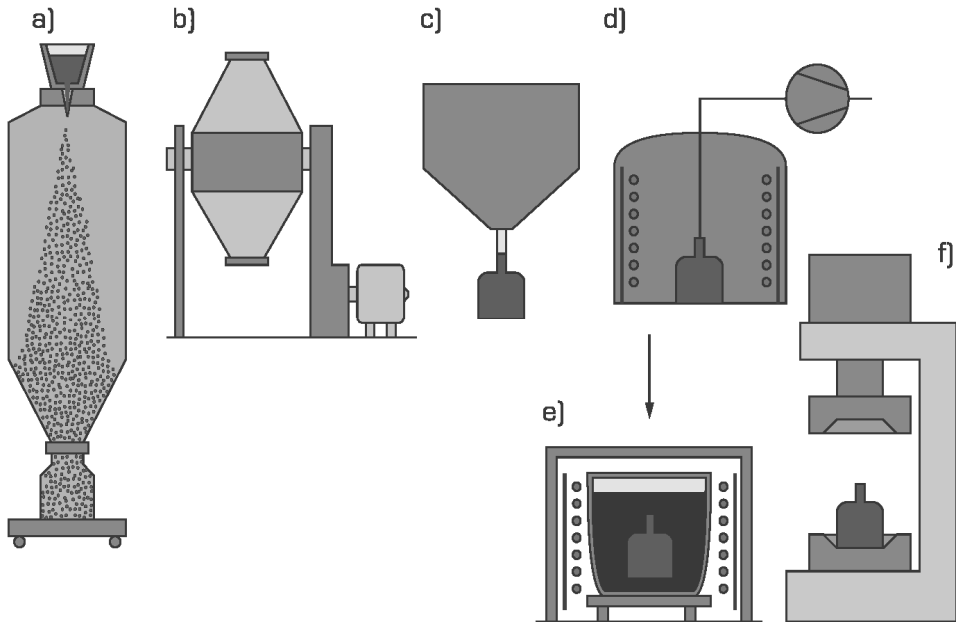
na zimno, a następnie wypraski są spiekane w próżni. Metodą tą są produkowane gotowe narzędzia, zwłaszcza drobne, które po obróbce cieplnej podlegają jedynie ostrzeniu i szlifowaniu. W przypadku narzędzi skomplikowanych metodą tą są wykonywane półprodukty, które następnie wymagają niewielkiej obróbki mechanicznej w celu nadania produktom wymaganych kształtów i wymiarów.

W brytyjskiej metodzie CAP (zestawienia pod ciśnieniem atmosferycznym) wytwarzania spiekanych stali szybkoznących (rys. 2.3), stal szybkoznąca wytopiona w piecu indukcyjnym w powietrzu lub w próżni jest rozpylana odpowiednio azotem lub argonem. Bardzo drobne krople metalu krzepną przed osiągnięciem dna komory rozpylającej. Przesianym, oczyszczonym chemicznie i osuszonym w próżni proszkiem są zasypywane szklane formy o założonym kształcie, które po obsypaniu piaskiem są umieszczane w ogniotrwałym zbiorniku. Zespół form jest nagrzewany w atmosferze powietrza do temperatury wyższej od ok. 1100°C



**Rysunek 2.2.** Schemat procesu technologicznego CMII Fuldens otrzymywania spieków kształtowych ze spiekanych stali szybkoznących: a) mechaniczne rozdrobnienie proszków, b) napełnianie pojemników, c) prasowanie izostatyczne na zimno, d) konwencjonalne prasowanie proszku w matrycach stalowych na zimno, e) spiekanie w próżni, f) obróbka wykończająca narzędzia, g) kontrola

w tradycyjnym piecu elektrycznym lub gazowym. W wyniku dyfuzji w stanie stałym następuje zestalenie półproduktów, które są następnie chłodzone w powietrzu, kiedy to następuje samoczynne rozbitcie szklanej formy. Uzyskany w ten sposób jednorodny półprodukt, w celu nadania wymaganych kształtów i wymiarów, jest poddawany konwencjonalnej obróbce plastycznej na gorąco przez kucie lub walcowanie. Ograniczenie obróbki plastycznej w tym procesie, w porównaniu z innymi, powoduje ograniczenie zużycia energii o 50%, a ogólny koszt jest znacznie mniejszy w porównaniu z innymi procesami metalurgii proszków i nie większy niż w procesach metalurgii konwencjonalnej.

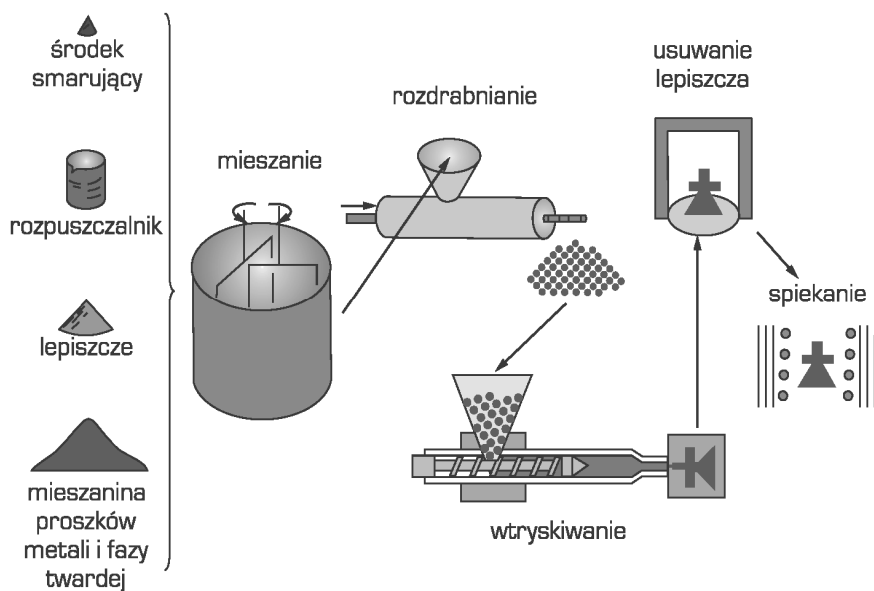


**Rysunek 2.3.** Schemat procesu technologicznego wytwarzania spiekanych stali szybkoctnych metodą CAP: a) rozpylanie w pojemniku pionowym, b) przesiewanie, c) napelnianie szklanej formy, d) odgazowanie w temperaturze 300-500°C, e) zestalenie w piecu, f) obróbka plastyczna na gorąco

Jedną z nowoczesnych metod wytwarzania narzędzi ze stali szybkoctnych jest metoda formowania wtryskowego proszku PIM (j. ang.: *Powder Injection Molding*), która może być również stosowana np. dla stali odpornych na korozję i żarowytrzymałych. Dynamiczny rozwój metody PIM przypada na ostatnie dziesięciolecie. Metoda ta wzięła swój początek z formowania wtryskowego materiałów polimerowych, stosowanego na szeroką skalę głównie do kształtowania materiałów termoplastycznych. Umożliwia ona wykorzystanie zalet

formowania wtryskowego polimerów do wytwarzania materiałów metalowych, ceramicznych i metalowo-ceramicznych.

Proces formowania wtryskowego proszku polega na mieszanii polimeru oraz proszku nieorganicznego i podawaniu go do zasobnika wtryskarki (rys. 2.4). Po procesie wtryskiwania i polimeryzacji kształtka jest poddawana częściowej lub zupełnej depolimeryzacji w celu usunięcia polimeru. Etap ten wymaga stosowania nagrzewania z małą szybkością i długiego wygrzewania w temperaturze depolimeryzacji. Następnie kształtka jest spiekana. Odpowiednie warunki spiekania pozwalają na uzyskanie gęstości materiału zbliżonej do gęstości



**Rysunek 2.4.** Schemat procesu formowania wtryskowego proszku (opracowano według R.M. Germana)

teoretycznej. Wielkie sukcesy w masowym zastosowaniu tej metody zostały odnotowane w produkcji zamków samochodowych, czujników poduszek powietrznych, aparaturze sygnalizacji świetlnej, napędów dysków komputerowych, elementów broni palnej, a nawet zawiasów w oprawkach okularów czy mechanizmów do elektrycznych szczoteczek do zębów. Te i inne szerokie zastosowania metody formowania wtryskowego proszku wynikają z możliwości stosowania jej do wytwarzania elementów o skomplikowanych kształtach, stosunkowo małej masie i wysoko rozwiniętej powierzchni, co w przypadku innych metod wytwarzania materiałów spiekanych jest wyjątkowo trudne lub też niemożliwe. Dodatkowym atutem tej metody jest niewątpliwie możliwość uniknięcia obróbki plastycznej i ubytkowej,



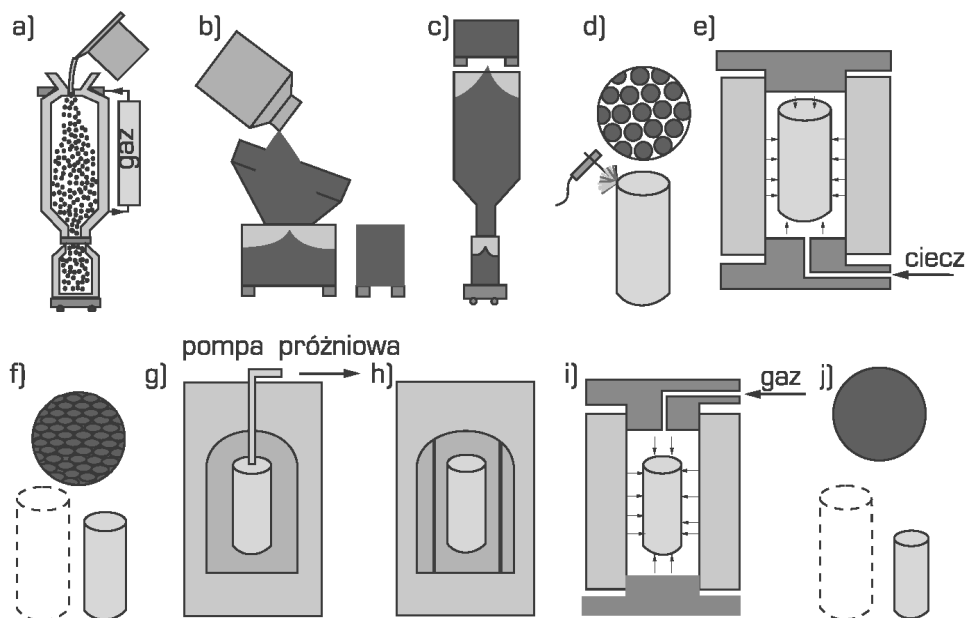
oraz związane z tym korzyści ekonomiczne i ekologiczne. Te zalety są powodem stosowania formowania wtryskowego proszku do wytwarzania narzędzi. Dodatkową zaletą procesu spiekania jest węgiel znajdujący się pomiędzy ziarnami proszku, pozostający w wyniku degradacji polimeru. Pozwala to na obniżenie temperatury spiekania materiałów narzędziowych, w tym stali szybko tnących. Materiały narzędziowe wytwarzane metodą formowania wtryskowego proszku mogą być spiekane w piecach próżniowych jak i w piecach z atmosferą ochronną, co świadczy o elastyczności metody i możliwości jej dopasowania do posiadanych urządzeń.

Uzyskanie niemal gotowych produktów umożliwia również brytyjska metoda POWDREX. W metodzie tej nie rozpyla się ciekłej stali szybko tnącej, lecz oddzielnie uzyskuje się proszek stali węglowej i niezbędnych dodatków stopowych przez kolejne rozpylanie wodą ciekłej stali węglowej i pierwiastków stopowych. Uzyskany proszek wyżarza się w celu odwodnienia i wysuszenia, a także zmniejszenia stężenia tlenu i zmiękczenia. Po sprasowaniu w prasie mechanicznej lub hydraulicznej albo izostaticznie na zimno pod ciśnieniem 1000-1500 MPa wypraska jest spiekana w próżni, a następnie wyżarzana i poddawana wykończającej obróbce skrawaniem i obróbce cieplnej.

## **KOMBINOWANA TECHNOLOGIA METALURGII PROSZKÓW I KONWENCJONALNEJ OBRÓBKII PLASTYCZNEJ UZYSKIWIANIA WIELKOGABARYTOWYCH BLOKÓW, KĘSÓW LUB PRĘTÓW ZE STALI NARZĘDZIOWYCH, W TYM SZYBKOTNĄCYCH**

Najpowszechniej stosowana metoda szwedzkich firm ASEA-STORA (rys. 2.5) otrzymywania spiekanych stali szybko tnących, określana jako ASP, opracowana w Hucie Koppaberg w Soedefors w Szwecji, polega na uzyskaniu proszku stali szybko tnącej przez rozpylanie normalnie wytopionej stali szybko tnącej w strumieniu bardzo czystego azotu, izostaticznym prasowaniu bloku z tej stali o masie ok. 1500 kg pod ciśnieniem 400 MPa i następnie spiekaniu izostaticznym na gorąco w temperaturze 1150°C pod ciśnieniem 100 MPa w atmosferze argonu. Bloki o średnicy 400 mm i wysokości 1500 mm, wykazujące we wszystkich miejscach drobnoziarnistą i jednorodną strukturę, poddaje się wyżarzaniu zmiękczającemu, po czym można z nich bezpośrednio wykonywać narzędzia lub poddać je obróbce plastycznej na gorąco w celu nadania kształtu i wymiarów najdogodniejszych do wytwarzania narzędzia. Stale

otrzymane tą metodą charakteryzują się dobrą plastycznością na gorąco i uzyskiem w procesach obróbki plastycznej znacznie większym niż w przypadku stali konwencjonalnych. Poddaje się je podobnej obróbce cieplnej jak konwencjonalne stale szybko tnące. Obecnie jedynym właścicielem zarówno znaku towarowego spiekanych stali szybko tnących ASP, jak i zakładu wytwórczego w Szwecji, jest firma Erasteel w Paryżu we Francji. Różne gatunki spiekanych stali szybko tnących wytwarzanych obecnie przez firmę Erasteel metodą ASP zestawiono w tablicy 2.1.



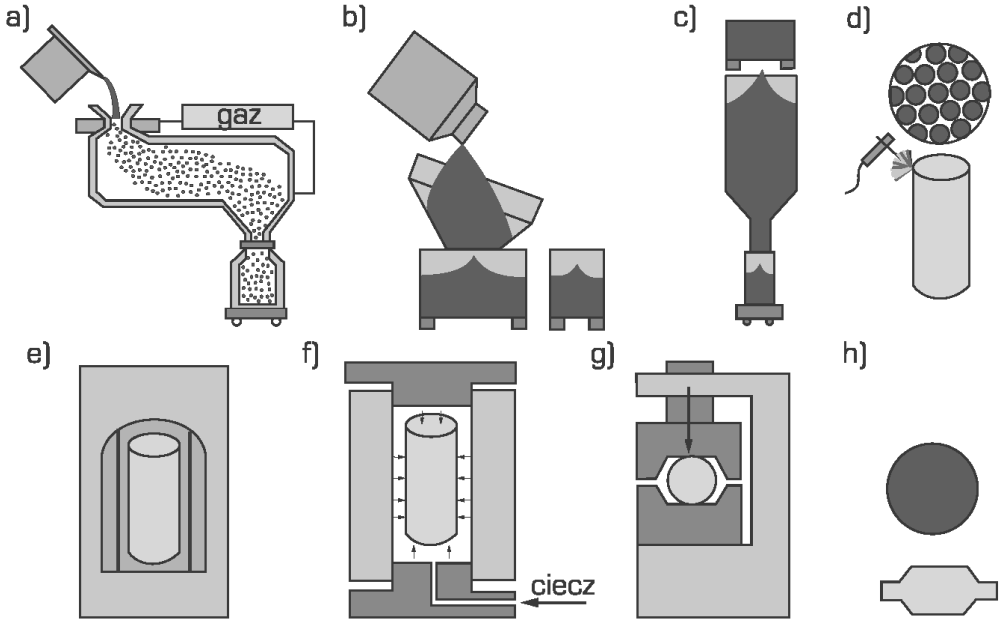
**Rysunek 2.5.** Schemat procesu technologicznego spiekania stali szybko tnącej metodą ASEASTORA (ASP): a) rozpylanie w komorze pionowej, b) przesiewanie proszku, c) napelnianie zbiornika stalowego, d) zaspawanie zbiornika stalowego, e) prasowanie izostatyczne na zimno, f) blok stali szybko tnącej wstępnie sprasowany, g) podgrzewanie wstępne i odgazowanie, h) podgrzewanie, i) spiekanie izostatyczne na gorąco, j) blok spiekanej stali szybko tnącej

Modyfikację metody ASP stanowi metoda STAMP. W metodzie tej rozpylanie ciekłej stali szybko tnącej gazem obojętnym następuje w komorze poziomej (rys. 2.6). Pozioma komora do rozpylania może być usytuowana w istniejących niewysokich nawet halach stalowni. Ponadto zagęszczenie podgrzanego proszku w pojemniku w metodzie STAMP nie jest wykonywane w prasie izostatycznej, lecz w prasie hydraulicznej w matrycy zamkniętej ze wszystkich stron.

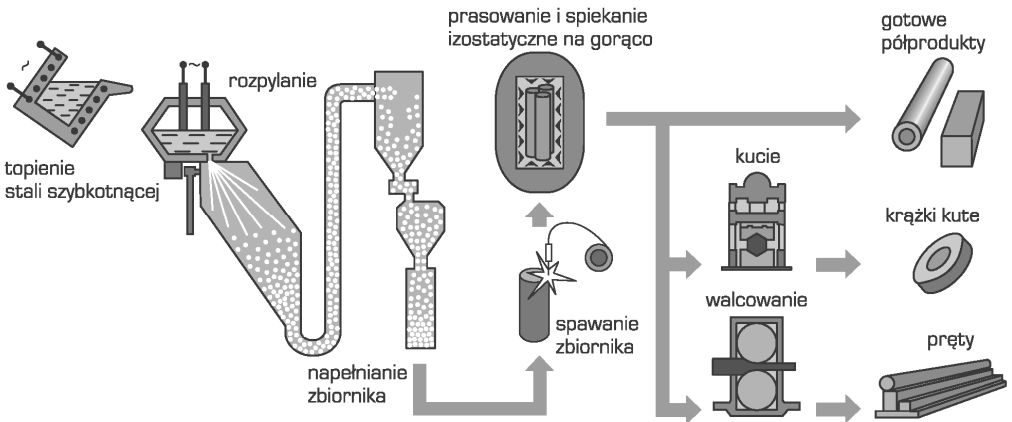
**Tablica 2.1.** Orientacyjny skład chemiczny spiekanych stali szybkołączących i innych spiekanych stali narzędziowych (opracowano według katalogów firm Erasteel w Paryżu we Francji i Boehler International w Kapfenberg w Austrii)

| Znak stali <sup>1)</sup>                                       | Średnie stężenie pierwiastków, % |      |      |     |      |      |         |
|--|----------------------------------|------|------|-----|------|------|---------|
|  | C                                | Cr   | W    | Mo  | V    | Co   | inne    |
| <b>Stale szybkołączące</b>                                     |                                  |      |      |     |      |      |         |
| ASP 2004 <sup>2)</sup> (PMHS6-5-4)                             | 1,4                              | 4,2  | 5,8  | 5   | 4,1  | –    | –       |
| S690 <sup>3)</sup> (PMHS6-5-4)                                 | 1,35                             | 4,3  | 5,9  | 4,9 | 4,1  | –    | –       |
| ASP 2011 <sup>2)</sup> (PMHS0-1-10)                            | 2,45                             | 5,25 | –    | 1,3 | 9,75 | –    | –       |
| ASP 2015 <sup>2)</sup> (PMHS12-0-5-5)                          | 1,55                             | 4    | 12   | –   | 5    | 5    | –       |
| ASP 2017 <sup>2)</sup> (PMHS3-3-1-8Nb)                         | 0,8                              | 4    | 3    | 3   | 1    | 8    | Nb: 1   |
| ASP 2023 <sup>2)</sup> (PMHS6-5-3)                             | 1,28                             | 4,1  | 6,4  | 5   | 3,1  | –    | –       |
| S790 <sup>3)</sup> (PMHS6-5-3)                                 | 1,3                              | 4,2  | 6,3  | 5   | 3    | –    | –       |
| ASP 2030 <sup>2)</sup> (PMHS6-5-3-9)                           | 1,28                             | 4,1  | 6,4  | 5   | 3,1  | 8,5  | –       |
| S590 <sup>3)</sup> (PMHS6-5-3-8)                               | 1,3                              | 4,2  | 6,3  | 5   | 3    | 8,4  | –       |
| ASP 2052 <sup>2)</sup> (PMHS11-2-5-8)                          | 1,6                              | 4,8  | 10,5 | 2   | 5    | 8    | –       |
| S390 <sup>3)</sup> (PMHS10-2-5-8)                              | 1,6                              | 4,8  | 10   | 2   | 5    | 8    | –       |
| ASP 2053 <sup>2)</sup> (PMHS4-3-8)                             | 2,48                             | 4,2  | 4,2  | 3,1 | 8    | –    | –       |
| ASP 2055 <sup>2)</sup> (PMHS6-5-3-9Nb)                         | 1,69                             | 4    | 6,3  | 4,6 | 3,2  | 9    | Nb: 2,1 |
| ASP 2060 <sup>2)</sup> (PMHS7-7-7-11)                          | 2,3                              | 4,2  | 6,5  | 7   | 6,5  | 10,5 | –       |
| ASP 2080 <sup>2)</sup> (PMHS11-5-7-16)                         | 2,45                             | 4    | 11   | 5   | 6,5  | 16   | –       |
| S290 <sup>3)</sup> (PMHS14-3-5-11)                             | 2                                | 3,75 | 14,3 | 2,5 | 5    | 11   | –       |
| <b>Stale do pracy na zimno</b>                                 |                                  |      |      |     |      |      |         |
| ASP 2005 <sup>2)</sup> (PM150CrVWMo16-40-10)                   | 1,5                              | 4    | 2,5  | 2,5 | 4    | –    | –       |
| ASP 2040 <sup>2)</sup> (PMX110VCrWMoN83-17-13)                 | 1,1                              | 4,2  | 3,3  | 3   | 8,3  | –    | N: 1,6  |
| K190 <sup>3)</sup> (PMX230CrVWMo13-4-1)                        | 2,3                              | 12,5 | –    | 1,1 | 4    | –    | –       |
| K390 <sup>3)</sup> (PMX245VCrMoCoW9-4-4-2)                     | 2,45                             | 4,2  | 1    | 3,8 | 9    | 2    | –       |
| K890 <sup>3)</sup> (PM85CoCrMoWV18-17-28-10)                   | 0,85                             | 4,35 | 2,55 | 2,8 | 2,1  | 4,5  | –       |
| <b>Stal do pracy na gorąco</b>                                 |                                  |      |      |     |      |      |         |
| ASP 2012 <sup>2)</sup> (PM60CrWMoV16-8-20-15)                  | 0,6                              | 4    | 2,1  | 2   | 1,5  | –    | Si: 1   |
| <b>Stal na matryce do przetwórstwa materiałów polimerowych</b> |                                  |      |      |     |      |      |         |
| M390 <sup>3)</sup> (PMX190CrVWMoW20-4-1)                       | 1,9                              | 20   | 0,6  | 1   | 4    | –    | –       |

<sup>1)</sup> W nawiasie podano znak stali zgodny z zasadami zawartymi w PN-EN 10027-1:2007.  
<sup>2)</sup> Produkowane przez firmę: Erasteel, <sup>3)</sup> Boehler International.



**Rysunek 2.6.** Schemat procesu technologicznego wytwarzania spiekanych stali szybko tnących metodą STAMP: a) rozpylanie w pojemniku poziomym, b) przesiewanie proszku, c) napelnianie zbiornika stalowego, d) zaspawanie zbiornika stalowego, e) podgrzewanie, f) zagęszczanie w prasie hydraulicznej, g) obróbka plastyczna, h) blok stali szybko tnącej



**Rysunek 2.7.** Schemat zintegrowanej linii technologicznej wytwarzania spiekanych stali narzędziowych stopowych i szybko tnących metodą MICROCLEAN w hucie firmy Boehler International w Kapfenberg w Austrii (opracowano na podstawie materiałów firmowych)

Cykl prasowania może być w ten sposób skrócony do ok. 5 min. Zaletą metody STAMP, przy analogicznej jakości produktów jak w innych metodach metalurgii proszków, są oszczędności wynikające ze zmniejszenia kosztów inwestycyjnych oraz uproszczenia i skrócenia operacji zagęszczania.

Kolejną modyfikację metod ASP i STAMP stanowi technologia trzeciej generacji MICROCLEAN, opracowana w hucie firmy Boehler International w Kapfenberg w Austrii. Zintegrowana linia technologiczna zainstalowana w tej hucie, przedstawiona na rysunku 2.7, jest uważana za najbardziej rozwiniętą w tym zakresie w Świecie. Metodą tą, oprócz spiekanych stali szybkootnających, wytwarzane są inne stale, w tym spiekane stale narzędziowe stopowe oraz stale na matryce do przetwórstwa materiałów polimerowych (tabl. 2.1).