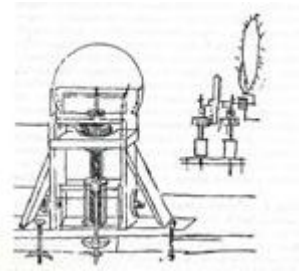
Maria Rosienkiewicz

Innowacje w obszarze techniki wytwarzania metodą obróbki ściernej



XV wiek

XXI wiek

Spis treści

WSTĘP **3**

1. POJĘCIE OBRÓBKI ŚCIERNEJ **4**

1.1. MIEJSCE OBRÓBKI ŚCIERNEJ WŚRÓD TECHNIK WYTWARZANIA. 4

1.2. DEFINICJA I PODZIAŁ OBRÓBKI ŚCIERNEJ 5

1.3. PODSTAWOWE POJĘCIA ZWIĄZANE Z OBRÓBKĄ ŚCIERNĄ 6

2. ROZWÓJ OBRÓBKI ŚCIERNEJ NA PRZESTRZENI WIEKÓW- MILOWE KROKI. INNOWACJE W ZAKRESIE NARZĘDZI, OBRABIAREK I TECHNOLOGII. **18**

2.1. ZARYS HISTORYCZNY ROZWOJU OBRÓBKI ŚCIERNEJ OD CZASÓW PREHISTORYCZNYCH DO KOŃCA XVIII WIEKU. 18

2.2. DYNAMICZNY ROZWÓJ OBRÓBKI ŚCIERNEJ W XIX WIEKU 26

2.3. ODKRYCIA W OBSZARZE MATERIAŁÓW ŚCIERNYCH DO POŁOWY XX WIEKU 31

3. INNOWACJE W OBSZARZE OBRÓBKI ŚCIERNEJ W XX WIEKU **38**

3.1. POSTĘP NA POLU OBRÓBKI ŚCIERNEJ DO POŁOWY XX WIEKU-AUTOMATYZACJA. 38

3.2. INNOWACJE W OBSZARZE MATERIAŁÓW I NARZĘDZI ŚCIERNYCH W DRUGIEJ POŁOWIE XX WIEKU I NA POCZĄTKU WIEKU XXI. 42

3.3. INNOWACJE W ZAKRESIE TECHNOLOGII W DRUGIEJ POŁOWIE XX WIEKU I NA POCZĄTKU WIEKU XXI. 47

3.4. INNOWACJE W OBSZARZE OBRABIAREK W DRUGIEJ POŁOWIE XX WIEKU I NA POCZĄTKU WIEKU XXI – STEROWANIE NUMERYCZNE. 51

4. PRZYKŁADY NAJNOWSZYCH TENDENCJI ROZWOJOWYCH W OBRĘBIE NARZĘDZI, OBRABIAREK ORAZ TECHNOLOGII. **55**

4.1. KIERUNKI ROZWOJU MATERIAŁÓW I NARZĘDZI ŚCIERNYCH 55

4.2. TENDENCJE ROZWOJOWE TECHNOLOGII OBRÓBKI ŚCIERNEJ 57

4.3. KIERUNKI ROZWOJU OBRABIAREK 58

ZAKOŃCZENIE **66**

LITERATURA **68**

SPIS TABLIC **71**

SPIS RYSUNKÓW **71**

Wstęp

W pracy przedstawiony został temat innowacji w obróbce ściernej. W pierwszym rozdziale określono miejsce, jakie zajmuje obróbka ścierna wśród innych technik wytwarzania. Już we wstępie należy zaznaczyć, że z powodu różnych klasyfikacji metod wytwarzania, w pracy przyjęto, że obróbka ścierna jest jedną z metod skrawania, obok obróbki wiórowej. Następnie przedstawiono definicję i podział obróbki ściernej oraz podstawowe pojęcia dotyczące tej dziedziny, takie jak materiał ścierny, spoiwo, narzędzie ścierne czy obrabiarka.

W rozdziale drugim omówiono rozwój obróbki ściernej na przestrzeni wieków. W pierwszej części tego rozdziału zarysowano historię obróbki ściernej od pradziejów do końca XVIII wieku. Cały kolejny podrozdział poświęcono rozwojowi omawianej dziedziny w wieku XIX, ponieważ wówczas rozwój ten był bardzo dynamiczny. Ostatnia część tego rozdziału opisuje odkrycia w zakresie materiałów ściernych. Warto dodać, że w głównej mierze omawiany był rozwój szlifowania, ponieważ jest to najważniejsza i najbardziej rozpowszechniona metoda obróbki ściernej. Wspomniano także pokrótce o rozwoju w dziedzinie wiórowej obróbki skrawaniem, ze względu na to, że niejednokrotnie pewne rozwiązania techniczne w niej stosowane, przeniesione zostały następnie na obszar konstrukcji obrabiarek używanych w obróbce ściernej.

Rozdział trzeci poświęcono innowacjom na polu obróbki ściernej. W pierwszym podrozdziale omówiono postęp, który nastąpił do połowy XX wieku, w następnych częściach scharakteryzowano rozwój obróbki ściernej dzieląc ją na trzy obszary, a mianowicie rozwój w zakresie materiałów i narzędzi ściernych, w zakresie technologii oraz w zakresie obrabiarek.

Ostatnia część pracy przedstawia najnowsze tendencje rozwoju obróbki ściernej, również na trzech obszarach, czyli materiałów i narzędzi ściernych, technologii i obrabiarek. Na zakończenie przytoczono przykłady najnowocześniejszych produktów charakterystycznych dla tej dziedziny, które prezentowane były na 17. Światowych Targach Obrabiarek i Obróbki Materiałów – EMO 2007, które odbyły się w Hanowerze między 17 a 22 września 2007 roku.

1. Pojęcie obróbki ściernej.

1.1. Miejsce obróbki ściernej wśród technik wytwarzania.

Nauką o wytwarzaniu części maszyn i urządzeń z materiałów wyjściowych, czyli półfabrykatów, jest **technologia maszyn**. Tworzy ona i rozwija teoretyczne podstawy dla techniki wytwarzania, formułując prawa jak i zasady procesów wytwórczych. **Technika wytwarzania** ma za zadanie korzystać z technologicznych, tzn. naukowych podstaw i zasad tak, aby wytworzony wyrób spełniał wymagania jakości i ekonomiczności. W języku potocznym termin technologia stosowany jest często jako synonim techniki wytwarzania. W obszarze wytwarzania maszyn, urządzeń i narzędzi, wyróżnia się technologię maszyn oraz technikę wytwarzania maszyn. Pojęcie technologia używane jest w trzech znaczeniach: jako nauka o wytwarzaniu, jako proces wytwarzania, a także jako zbiór dokumentacji, według której prowadzony jest proces wytwarzania. Cel, któremu służyć ma technologia, pozwala sklasyfikować ją na typy uznawane jako subdyscypliny naukowe, rodzaje, grupy, sposoby i odmiany. Technologia maszyn jest więc typem technologii. Można traktować ją jako subdyscyplinę w zakresie dyscypliny budowa i eksploatacja maszyn. W obrębie technologii maszyn, wyróżnić można następujące rodzaje technologii[1]:

- Technologie formujące- formowanie plastyczne, spiekanie i odlewanie,
- Technologie kształtujące-skrawanie, **ścieranie**, erodowanie,
- Technologie ulepszające-powłoki, pokrycia,
- Technologie cieplne-ulepszanie cieplne, hartowanie,
- Technologie łączeniowe-rozłączne i nierozłączne,
- Technologie pomiarowe i kontrolne,
- Technologie przyrostowe (*rapid prototyping*)
- Projektowanie technologiczne.

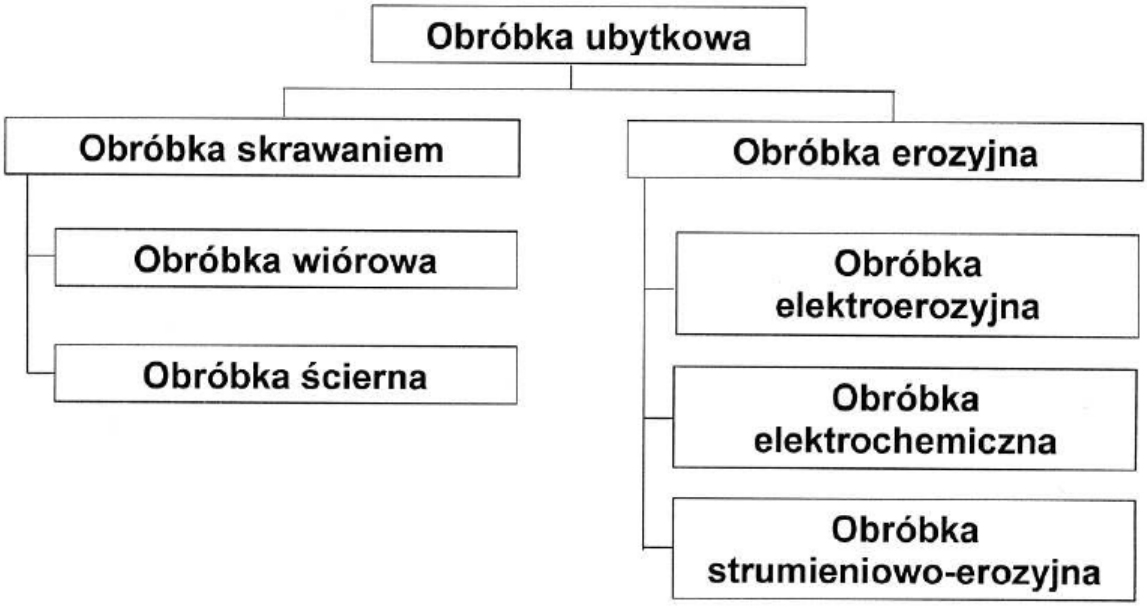
Obróbka ścierna jest zatem, według tego podziału, obok obróbki skrawaniem i obróbki erozyjnej, jedną z kształtujących technik wytwarzania (technologii).

W innym ujęciu obróbkę ścierną klasyfikuje się jako rodzaj obróbki ubytkowej, której zadaniem jest usunięcie określonej objętości materiału, zwanej naddatkiem, w celu uzyskania wymaganych wymiarów i kształtów, a także określonych właściwości warstwy wierzchniej przedmiotu. W ujęciu tym obróbkę ubytkową dzieli się na obróbkę skrawaniem, polegającą

[1] H. Żebrowski, Techniki wytwarzania. Obróbka wiórowa, ścierna, erozyjna, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2004, s.11

na oddzieleniu materiału przy użyciu energii mechanicznej, oraz na obróbkę erozyjną, która opiera się na oddzielaniu materiału w wyniku działania energii elektrycznej, chemicznej i cieplnej. Obróbka ścierna jest rodzajem obróbki skrawaniem, obok obróbki wiórowej. Obróbkę wiórową przeprowadza się stosując narzędzia jedno- lub wieloostrzowe, które posiadają zdefiniowaną ściśle liczbę i kształt ostrzy skrawających. Obróbkę ścierną natomiast realizuje się za pomocą licznych ziaren ściernych o nieustalonej liczbie i kształcie, które najczęściej powiązane są spoiwem. Powyższą klasyfikację ilustruje schemat przedstawiony na rysunku 1.

Rysunek 1 Podział obróbki ubytkowej



Źródło: Wykład Procesy i techniki wytwarzania i CAMII

1.2. Definicja i podział obróbki ściernej

Spotkać można wiele definicji obróbki ściernej. Spośród nich wybrane zostały dwie, które dostatecznie dobrze wyjaśniają omawiane pojęcie. Pierwsza z definicji stwierdza, że **obróbka ścierna** polega na usuwaniu niewielkich naddatków materiału za pomocą narzędzi ściernych lub luźnych ziaren. Orientacja ziaren względem głównych kierunków kinematycznych w chwili zetknięcia z materiałem ma charakter losowy[2]. Natomiast według drugiej definicji pod pojęciem obróbki ściernej rozumie się sposoby obróbki skrawaniem, w których proces usuwania ustalonych objętości kształtowanego materiału dokonuje się ostrzami ziarn z twardych materiałów, o nieoznaczonej ściśle liczbie i nieokreślonym

[2] P. Cichosz, Techniki wytwarzania. Obróbka ubytkowa. Laboratorium, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2002, s.89

kształcie, doprowadzanymi do styku z obrabianym przedmiotem[3]. Sposoby obróbki ściernej podzielić można na dwie podstawowe grupy[4]- **obróbkę spojonym ścierniwem** oraz **obróbkę luźnym ścierniwem** i dodatkowo obróbkę elektrochemiczno-ścierną. Do pierwszej grupy zalicza się:

- Szlifowanie ściernicowe
- Szlifowanie taśmowe
- Szlifowanie krążkami i tarczami listkowymi
- Gładzenie
- Dogładzanie oscylacyjne

Do grupy obróbki luźnym ścierniwem należą:

- Docieranie
- Obróbka udarowo-ścierna
- Obróbka tłoczno- ścierna
- Obróbka rotacyjno-ścierna
- Obróbka wibracyjno-ścierna
- Obróbka magnetyczno-ścierna
- Obróbka aerościerna
- Obróbka strumieniowo- ścierna
- Polerowanie ścierne

Ten rodzaj obróbki posługuje się luźnymi ziarnami ściernymi zawartymi w pastach i płynach. W powyższych grupach rozróżnić można sposoby oraz odmiany, które charakteryzują się odmienną kinematyką, budowa narzędzia i obrabiarki lub sposobem doprowadzania ścierniwa. Każda odmiana obróbki ściernej posiada zakres stosowania uzasadniony technicznie i ekonomicznie.

1.3. Podstawowe pojęcia związane z obróbką ścierną

W celu pełnego wyjaśnienia pojęcia „obróbka ścierna", należy przytoczyć i zdefiniować podstawowe terminy związane z tą techniką wytwarzania. Do terminów tych należą:

- Materiał ścierny
- Spoiwo

[3] W. Pszczołowski, P. Rosienkiewicz, Obróbka ścierna narzędziami nasypowymi, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 1995, s.17-18
[4] ibidem

- Narzędzie ścierne
- Obrabiarka

Materiały ścierne są substancjami mineralnymi, których krawędzie i naroża po rozdrobnieniu mają właściwości ostrzy skrawających[5]. Są one materiałami występującymi w przyrodzie lub otrzymywanymi w sposób sztuczny. Dzięki należytej przeróbce mechanicznej i chemicznej minerały naturalne przetwarzane są na ziarna i mikroziarna ścierne. Materiały wytwarzane w wyniku sztucznej syntezy lub wytopu pozwalają otrzymać klinkier w postaci kęsów o różnych wymiarach, które następnie rozdrabnia się na ścierniwo. A zatem ze względu na pochodzenie materiały ścierne podzielić można na naturalne i sztuczne. Ogólnie wyróżnia się materiały ścierne naturalne, syntetyczne, supertwarde oraz polerskie. Wspomnieć należy jak definiowane jest ścierniwo, ziarno ścierne oraz mikroziarno. Otóż **ścierniwo** jest materiałem ściernym rozdrobnionym na ziarna określonej wielkości. **Ziarno ścierne** to element materiału ściernego po jego rozdrobieniu, **mikroziarno** natomiast jest ziarnem o wielkości mniejszej niż 60 mikrometrów[6].

Twardości najczęściej stosowanych naturalnych materiałów ściernych podano w tabeli poniżej:

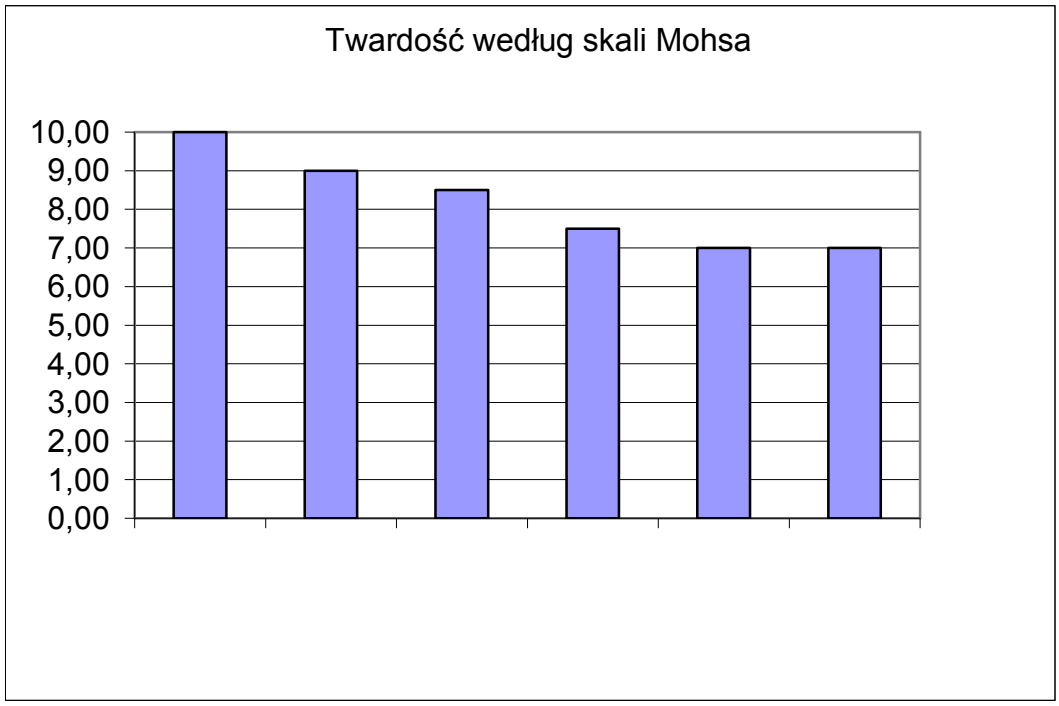
Tablica 1 Twardości naturalnych materiałów ściernych

Materiał ścierny	Składnik podstawowy	Twardość według skali Mohsa
Diament	C	10
Korund	Al_2O_3	9
Szmergiel	Al_2O_3	8-9
Granat	$Fe_3Al_2(SiO_4)_3$ $Mg_3Al_2(SiO_4)_3$ $Mn_3Al_2(SiO_4)_3$	7-7,5 7,5 7-7,5
Kwarc	SiO_2	7
Krzemień	SiO_2	7

Źródło: Opracowanie własne na podstawie P. Cichosz, Techniki wytwarzania. Obróbka ubytkowa. Laboratorium, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2002, s.90

[5] P. Cichosz, op. cit., s.90
[6] H. Żebrowski, op. cit., s.308-309

Rysunek 2 Twardości naturalnych materiałów ściernych



Źródło: Opracowanie własne

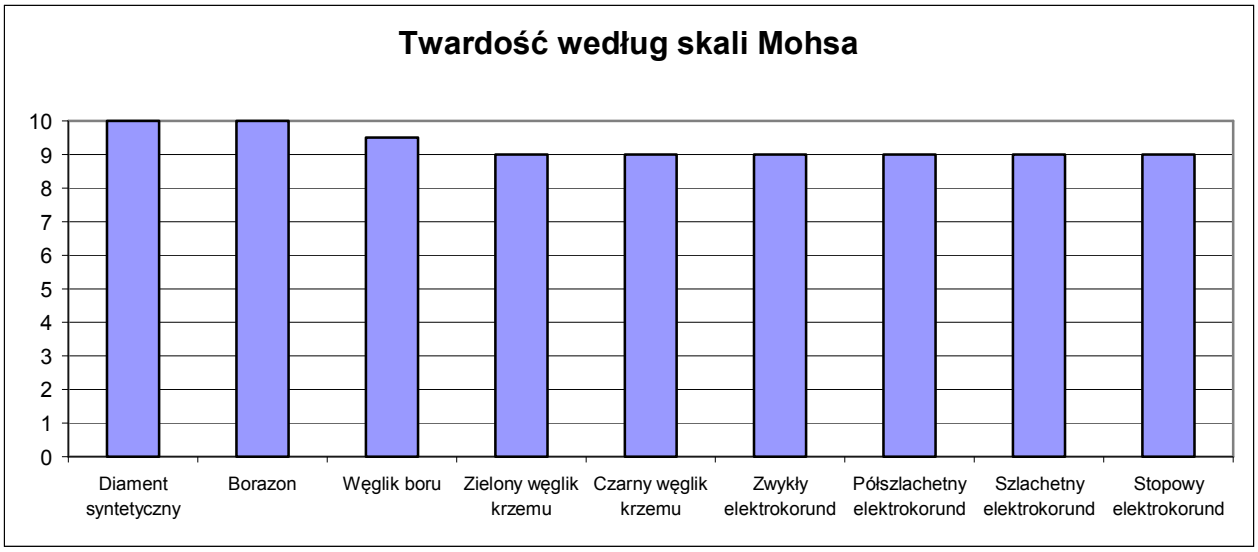
Natomiast twardości materiałów ściernych syntetycznych są następujące:

Tablica 2 Twardości syntetycznych materiałów ściernych

Materiał ścierny		**Oznaczenie**	**Twardość wg skali Mohsa**
Diament syntetyczny		C	10
Regularny azotek boru (Borazon)		BN	10
Węglik boru		B_4C	9,5
Węglik krzemu Sic	Zielony	99C	9
	Czarny	98C	9
Elektrokorund Al_2O_3	Zwykły	95A	9
	Półszlachetny	97A	9
	Szlachetny	99A	9
	Stopowy		9

Źródło: Opracowanie własne na podstawie P. Cichosz, Techniki wytwarzania. Obróbka ubytkowa. Laboratorium, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2002, s.91

Rysunek 3 Twardości syntetycznych materiałów ściernych



Źródło: Opracowanie własne

Spoiwo jest to składnik narzędzi ściernych. Zadaniem jego jest powiązanie poszczególnych ziaren ściernych w porowate ciało stałe.

Spoiwo charakteryzują następujące właściwości[7]:

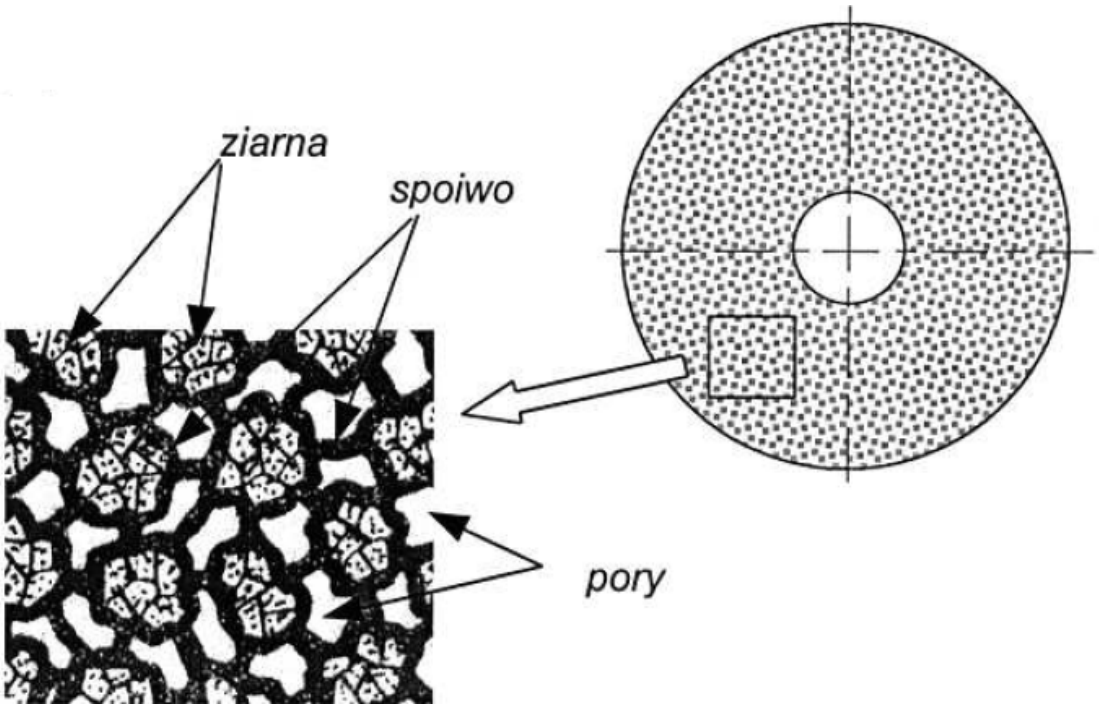
- Odpowiednia wytrzymałość, stosownie do rodzaju ścierniwa i przeznaczenia narzędzia,
- Odporność na wpływy chemiczne i wilgoć,
- Zdolność do tworzenia w narzędziu możliwie dużych, które spełniałyby rolę rowków wiórowych.

Obecnie stosuje się spoiwa głównie ceramiczne, ale także magnezytowe, krzemianowe, żywiczne, gumowe, metalowe, galwaniczne oraz klejowe.

Narzędzie ścierne jest bryłą o ustalonym kształcie i wymiarach, w której ziarna ścierne są związane w sposób dostatecznie trwały za pomocą spoiwa. Ziarna ścierne pełnią rolę ostrzy skrawających, zaś spoiwo rolę części chwytowej. Budowę narzędzia ściernego przedstawia poniższy rysunek.

[7] H. Żebrowski, op. cit., s.314

Rysunek 4 Budowa narzędzia ściernego na przykładzie ściernicy tarczowej z konwencjonalnych materiałów ściernych



Źródło: P. Cichosz, Techniki wytwarzania. Obróbka ubytkowa. Laboratorium, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2002, s.75

Podstawowymi narzędziami ściernymi są ściernice, segmenty, krążki, taśmy(końcowe i bezkońcowe), osełki, pilniki. Stosuje się także tarcze z nawiniętym płótnem ściernym, tarcze listkowe, arkusze ścierne, tulejki ścierne, włókniny ścierne. Na poniższych rysunkach zamieszczone zostały przykładowe narzędzia ścierne.

Rysunek 5 Zestaw ściernic

Źródło: http://www.univar.pl/materialy_scierne_wszystkie.php

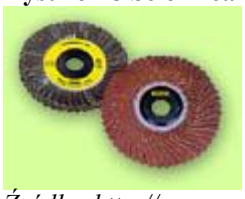
Rysunek 6 Ściernica listkowa talerzowa "POLERDISC" - płaska

Źródło: http://www.poler.pl/index.php?id=oferta

Rysunek 7 Ściernice listkowe trzpieniowe (SLT)

Źródło: http://www.poler.pl/index.php?id=oferta

Rysunek 8 Ściernica listkowa wachlarzowa (SLW-A)



Źródło: http://www.poler.pl/index.php?id=oferta

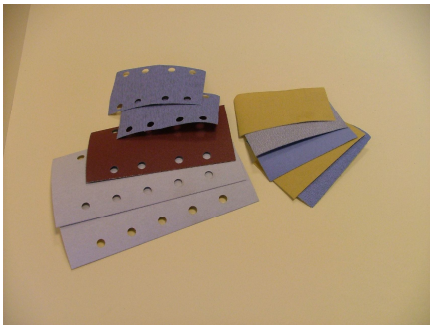
Rysunek 9 Krążki ścierne z nacięciem promienistym [Kp]

Źródło: http://www.poler.pl/index.php?id=oferta

Rysunek 10 Taśma ścierna bezkońcowa

Źródło: http://www.poler.pl/index.php?id=oferta

Rysunek 11 Arkusze ścierne



Źródło: http://www.korsil.pl/index.php?c=2&a=6&id=16

Rysunek 12 Osełki ścierne

Źródło:http://www.andre.com.pl/Produkty/Ose%C5%82ki%C5%9Bcierne/tabid/114/language/pl-PL/Default.aspx

Przedstawione zostały pokrótce pojęcia materiału ściernego, spoiwa oraz narzędzia ściernego, w skład którego wchodzi właśnie materiał ścierny oraz spoiwo. Aby dostatecznie wyjaśnić czym jest obróbka ścierna, należy wspomnieć jeszcze o obrabiarkach. Ogólnie definiuje się **obrabiarki** jako maszyny służące do mechanicznej obróbki przedmiotów w celu nadania im określonych kształtów, wymiarów i wykończenia powierzchni. Obróbkę realizuje się przy pomocy narzędzi[8]. Rodzaj obróbki ściernej determinuje typ obrabiarki w tej obróbce stosowany. W związku z tym można spotkać następujące obrabiarki:

- **Szlifierki.** Można podzielić je na szlifierki do wałków, płaszczyzn, otworów, krzywek, gwintów, kół zębatych. Szlifierki to obrabiarki stosowane w procesie **szlifowania**. Polega ono na mikroskrawaniu materiału obrabianego przez ziarna ścierne związane spoiwem[9]. Szlifowanie jest najbardziej rozpowszechnioną metodą obróbki wykańczającej, która zapewnia uzyskanie dużej dokładności

[8] http://pl.wikipedia.org/wiki/Obrabiarka z dnia 12 kwietnia 2008
[9] [9] P. Cichosz, Techniki wytwarzania. Obróbka ubytkowa. Laboratorium, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2002, s.70

wymiarowo-kształtowej i wysoką jakość warstwy wierzchniej przy dużej wydajności[10]. Przykładowe typy szlifierek przedstawione zostały poniżej.

Rysunek 13 Szlifierka narzędziowa nua 25

Źródło: http://www. maszyneria.pl/szlifierka,narzedziowa,nua,25,1763.html

[10] H. Żebrowski, Techniki wytwarzania. Obróbka wiórowa, ścierna, erozyjna, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2004, s.332

Rysunek 14 Szlifierka ond 350

Źródło: http://www.maszyneria.pl/szlifierka,ond,350,1799.html

- **Honownice (gładzarki)** są to obrabiarki stosowane w obróbce nazywanej **honowaniem (gładzeniem)**. Jest to obróbka wykańczająca otworów, stosowana w celu poprawienia dokładności kształtu i wymiarów, zmniejszenia chropowatości powierzchni oraz uzyskania odpowiedniej jakości warstwy wierzchniej. Honownice dzieli się na uniwersalne i specjalne[11]. Przykładowy typ honownicy zamieszczono poniżej.

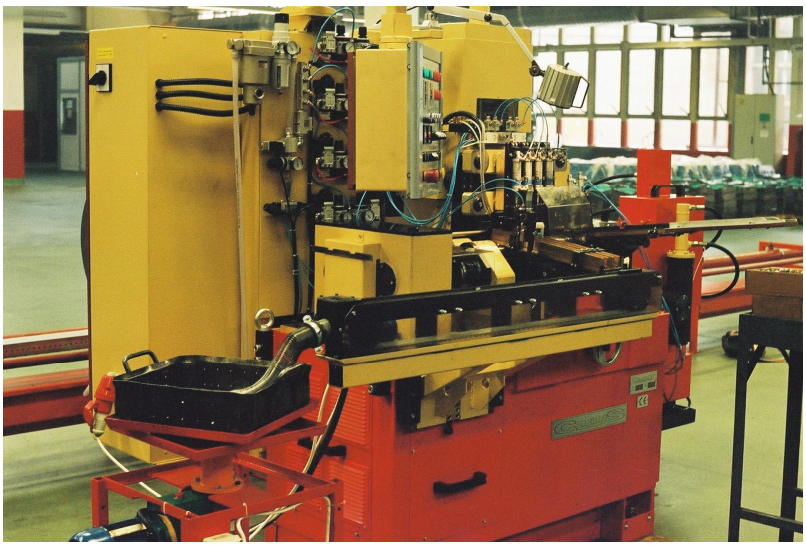
[11] H. Żebrowski, Techniki wytwarzania. Obróbka wiórowa, ścierna, erozyjna, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2004, s.358-364

Rysunek 15 Honownica pionowa SV-10

Źródło: http://www.sunnen.pl/index.php?option=com_content&task=view&id=110&Itemid=94

- **Dogładzarki** są obrabiarkami stosowanymi w **dogładzaniu oscylacyjnym**, w skrócie określanym jako dogładzanie (*superfinish*). Ten sposób obróbki ściernej wykańczającej jest jednym z najdokładniejszych. Umożliwia on uzyskanie bardzo dużej gładkości powierzchni obrabianej, dużej dokładności kształtu oraz bardzo dobrej jakości warstwy wierzchniej[12]. Na poniższej fotografii znajduje się jeden z rodzajów dogładzarek.

Rysunek 16 Dogładzarka do tworzącej wałeczków baryłkowych DTWb 10/30 E



Źródło: http://www.coius.pl/dogladzarka.html

[12] H. Żebrowski, Techniki wytwarzania. Obróbka wiórowa, ścierna, erozyjna, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2004, s.377

- **Docierarki** wyróżnia się jedno- i dwutarczowe do docierania maszynowego płaszczyzn i wałków, docierarki do otworów oraz docierarki bezkłowe do wałków. Docierarki to obrabiarki, które stosuje się w docieraniu. Docieranie to sposób obróbki wykańczającej, który umożliwia uzyskanie powierzchni o najmniejszej chropowatości oraz największej dokładności wymiarowo-kształtowej. Uzyskiwana struktura geometryczna powierzchni uzyskiwana w tym sposobie obróbki jest bardzo korzystna ze względów użytkowych[13]. Poniżej zamieszczono przykład docierarki.

Rysunek 17 Docierarka Speedfam

Źródło: http://www.hsw-zzn.com.pl/ciekawemain.htm

- **Wygładzarki** klasyfikuje się jako rotacyjno- bębnowe, rotacyjno- konsolowe, rotacyjno- obiegowe, rotacyjno- kaskadowe, wygładzarki wibracyjne. Ten typ obrabiarek używany jest w obróbce nazywanej wygładzaniem. Polega ono na mechanicznym oddziaływaniu na powierzchnie przedmiotów ścierniwa lub kształtek o większych wymiarach[14]. Na poniższym zdjęciu pokazane zostały trzy typy wygładzarek.

[13] H. Żebrowski, Techniki wytwarzania. Obróbka wiórowa, ścierna, erozyjna, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2004, s.381
[14] H. Żebrowski, Techniki wytwarzania. Obróbka wiórowa, ścierna, erozyjna, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2004, s.389

Rysunek 18 Wygładzarki odśrodkowe typu TURBO

Źródło: http://www.marbad.pl/index.php?option=com_content&task=view&id=142&Itemid=72

Uzupełnieniem pojęć charakterystycznych dla obszaru obróbki ściernej są parametry oraz wielkości, dzięki którym możliwe jest między innymi porównywanie danych rodzajów obróbki między sobą. Dzięki tym parametrom i wielkościom będzie można zauważyć i ocenić wpływ innowacji na ich wartości. Najczęściej stosowanym oznaczeniem w obróbce ściernej dotyczącym jakości powierzchni jest **średnie arytmetyczne odchylenie profilu od linii średniej**[15] $\mathbf{R_a}$ mierzone w μm. Informuje ono wartości **chropowatości powierzchni**, która jest cechą powierzchni ciała stałego. Oznacza ona rozpoznawalne optyczne lub wyczuwalne mechanicznie nierówności powierzchni, nie wynikające z jej kształtu, lecz przynajmniej o jeden rząd wielkości drobniejsze. Chropowatość w przeciwieństwie do innej podobnej cechy, falistości powierzchni, jest pojęciem odnoszącym się do nierówności o relatywnie małych odległościach wierzchołków. Wielkość chropowatości powierzchni zależy od rodzaju materiału i przede wszystkim od rodzaju jego obróbki[16]. Charakteryzując proces obróbki ściernej podaje się często parametry opisujące strukturę narzędzi ściernych. Na całkowitą objętość narzędzia ściernego spojonego składają się objętości ziaren ściernych V_z, spoiwa V_s oraz porów V_o[17].

$$V_z + V_s + V_o = 100\%$$

Strukturą narzędzia nazywa się procentowy udział ziaren ściernych w objętości całego narzędzia, natomiast porowatością narzędzia określa się stosunek objętości porów do całkowitej objętości narzędzia. Poza tym wyznacza się także twardość narzędzia ściernego,

[15] T. Dobrzański, Rysunek techniczny maszynowy, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 2002, s.86
[16] http://pl.wikipedia.org/wiki/Chropowato%C5%9B%C4%87_powierzchni z dnia 23 kwietnia 2008 r.
[17] H. Żebrowski, Techniki wytwarzania. Obróbka wiórowa, ścierna, erozyjna, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2004, s. 315

którym jest opór jaki stawia spoiwo przy wyrywaniu ziaren ściernych z powierzchni narzędzia podczas działania sił zewnętrznych. Ważnymi parametrami są także prędkość skrawania v_c, prędkość obwodowa ściernicy v_s, głębokość skrawania a_e, a_p, a także f czyli posuw na obrót.

2. Rozwój obróbki ściernej na przestrzeni wieków- milowe kroki. Innowacje w zakresie narzędzi, obrabiarek i technologii.

2.1. Zarys historyczny rozwoju obróbki ściernej od czasów prehistorycznych do końca XVIII wieku.

Ta część pracy dotyczyć będzie historii obróbki ściernej, najwięcej jednak uwagi zostanie poświęcone rozwojowi szlifowania, gdyż jest to najważniejsza i najczęściej stosowana metoda obróbki ściernej.

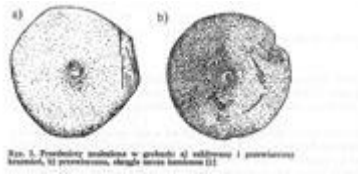
Współczesna nauka, dzięki licznym odkryciom archeologicznym ustaliła, że skrawanie geometrycznie nieokreślonymi przedmiotami nie jest wynalazkiem naszych czasów. W istocie szacuje się, że obróbka ścierna liczy sobie 40 tysięcy lat. Oznacza to, że pojawiła się w historii Ziemi pod koniec epoki górnego plejstocenu[18]. Uważa się, ze szlifowanie jest najstarsza metodą obróbki skrawaniem[19].

Historia człowieka jest historią walki o byt i przetrwanie. Nie może dziwić zatem fakt, iż już praprzodek ludzkiej rasy (*homo erectus*) myślał o broni dla zapewnienia owocnych łowów i ochrony własnej. Broń tę stanowiły prymitywne, trzymane w dłoni kliny o ostrych krawędziach, ale odłupywane już określoną techniką z większych kamieni. Z tych prostych klinów powstały przed około 40 000 laty obrobione narzędzia, niemal wyłącznie kamienne, których istnienie ujawniono na obszarze prawie całego świata. Najstarsze znaleziska pochodzą z Borneo, a ich wiek został określony pośrednio metodą radiowęglową (za pomocą izotropu węgla C-14)[20]. Według archeologów, naturalne materiały ścierne do polerowania broni i narzędzi stosowano już w okresie paleolitu i neolitu[21]. Paleolit[22], będący jedną z epok

[18] K. Oczoś, J. Porzycki, Szlifowanie. Podstawy i technika, Wydawnictwa Naukowo- Techniczne, Warszawa 1986, s.17-22
[19] L. Kwapisz, J. Rafałowicz, Szlifierki, Wydawnictwa Naukowo- Techniczne, Warszawa 1992, s. 10
[20] K. Oczoś, J. Porzycki, Szlifowanie. Podstawy i technika, Wydawnictwa Naukowo- Techniczne, Warszawa 1986, s.17-22
[21] K. Woźniak, Materiały ścierne. Wytwarzanie i własności, Wydawnictwa Naukowo – Techniczne, Warszawa 1982, s.11

prehistorii, to najstarszy i najdłuższy etap w dziejach rozwoju społeczności ludzkiej, zwany też jest starszą epoką kamienną. Rozpoczął się z chwilą pojawienia form przedludzkich zdolnych do wytwarzania prymitywnych narzędzi. Ówczesne szlifowanie, jeżeli można użyć takiego określenia, polegało na ręcznym pocieraniu kamienia o kamień. Do obróbki szlifierskiej kamieni szlachetnych stosowano rozdrobnione kamienie i muszle morskie[23]. Dalsze wykopaliska w różnych częściach świata wykazują, że w neolicie (około 5000-2000 lat p.n.e.) wykonywano dokładną obróbkę toporów, siekier i naczyń, stosując przyrządy i materiały ścierne. Neolit[24] jest końcowym okresem epoki kamienia, poprzedzającym epokę miedzi. Jego charakterystycznymi cechami były uprawa roślin i hodowla zwierząt oraz stałe osady. W neolicie rozwinęły się też nowe techniki obróbki kamienia, jak na przykład gładzenie powierzchni. Razem z rozwojem szlifowania kamieni rozwinęła się wówczas technika ich ciecia oraz wiercenia. Wśród przedmiotów składanych w grobach znalezione zostały tarcze wykonane z kamienia i z kości o regularnych kształtach i niewielkiej grubości. Pozwala to sądzić, że przy ich wytwarzaniu korzystano z prostszych maszyn.

Rysunek 19 Przedmioty znalezione w grobach a) szlifowany i przewiercony krzemień, b) przewiercona, okrągła tarcza kamienna



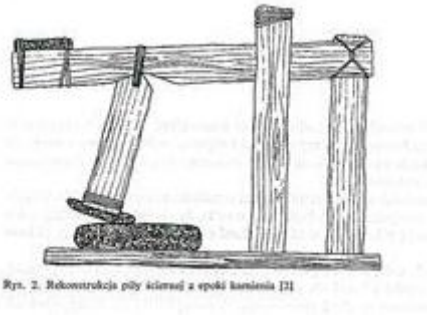
Źródło: K. Oczoś, J. Porzycki, Szlifowanie. Podstawy i technika, Wydawnictwa Naukowo- Techniczne, Warszawa 1986, s.17

Tak jak obecnie, również i w epoce kamienia, materiałami ściernymi, które stosowano były takie środki naturalne jak kwarc i piasek. Poprzez dodanie wody i oleju uzyskiwano właściwą zawiesinę ścierna, natomiast przyrząd do szlifowania wykonywano wówczas z drewna albo odpowiedniego kamienia, w każdym jednak przypadku z materiału miększego od obrabianego. Inny sposób polegał na użyciu kamienia, którym szlifowano przedmiot bez pośrednictwa materiału ściernego. W neolicie, oprócz polerowania ściernego, znano również przecinanie ścierne. Twarde kamienie dzielono na płytki jednakowej grubości za pomocą deseczki lub tez odpowiednio ukształtowanego kamienia w środowisku ścierniwa. Dokonywano tego na urządzeniu z wahliwym ramieniem.

---

[22] http://pl.wikipedia.org/wiki/Paleolit z dnia 9 maja 2008 r.
[23] K. Woźniak, Materiały ścierne. Wytwarzanie i własności, Wydawnictwa Naukowo – Techniczne, Warszawa 1982, s.11
[24] http://pl.wikipedia.org/wiki/Neolit z dnia 9 maja 2008

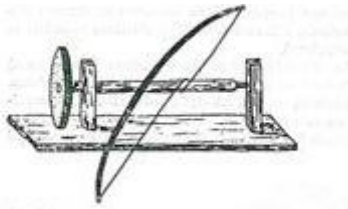
Rysunek 20 Rekonstrukcja piły ściernej z epoki kamienia



Źródło: K. Oczoś, J. Porzycki, Szlifowanie. Podstawy i technika, Wydawnictwa Naukowo- Techniczne, Warszawa 1986, s.18

Rekonstrukcja tego urządzenia była możliwa dzięki łukowym śladom obróbkowym, które widoczne były na rozdzielonych powierzchniach. W okresie tym nie są jeszcze znane okrągłe kamienie do szlifowania. Najprawdopodobniej dopiero Rzymianie, jako pierwsi, zastosowali obracającą się ściernicę.

Rysunek 21Rekonstrukcja rzymskiego urządzenia do szlifowania z napędem łukowym (sznurowym)



Źródło: K. Oczoś, J. Porzycki, Szlifowanie. Podstawy i technika, Wydawnictwa Naukowo- Techniczne, Warszawa 1986, s.18

Z epoki brązu (ok. 2000-1000 lat p.n.e.) nie znaleziono przykładów obróbki przedmiotów techniką ścierną. Nie wyklucz to jednak jej praktycznego stosowania. Dopiero w epoce żelaza (1000 lat p.n.e.) obróbka ścierna narzędzi, broni, ozdób i przedmiotów powszechnego użytku mogła rozwijać się wyjątkowo szybko. W tym czasie w obszarze Morza Śródziemnego pojawił się nowy, nie znany dotąd materiał ścierny. Był to czas rozkwitu fenickich miast Byblos, Tyr (obecnie Sur) i Sydon (obecnie Sajda) i związanego z tym dużego zapotrzebowania na luksusowe przedmioty. Fenickie statki handlowe przywiozły z greckiej wyspy Naxos tzw. kamień saksoński. Był to drobnoziarnisty i zanieczyszczony korund naturalny, który później nazwano szmerglem (szmirglem). Nazwa ta pochodziła od nazwy miasta Smyrna, obecnie Izmir, w Turcji. Właśnie w okolicy tego miasta został on odkryty. Fakt ten udokumentowany został przez historyka rzymskiego Pliniusza Starszego (67 r.n.e.), który nazywał go środkiem ściernym do kamieni szlachetnych. Szmergiel zaczęto

stosować masowo dopiero od 1844 roku, od czasu wprowadzenia maszynowej produkcji papieru ściernego.

Około 1000 r.n.e. szmergiel w połączeniu z miedzianą tarczą wykorzystywano do cięcia szkła. W XVI wieku zauważono, że twarde żelazo można kształtować miękką miedzią używając oleju i szmerglu, co pozwoliło na szybki rozwój obróbki metali, stosowanej głownie do wytwarzania rynsztunki i broni[25].

Około XII wieku Chińczycy jako pierwsi zastosowali do szlifowania kruszywo w stanie związanym. Wytwarzali oni narzędzia ścierne wiążąc muszle morskiego pochodzenia naturalnym kauczukiem. Później kruszywo muszlowe zastąpione zostało mielonym szkłem i piaskiem, a następnie granatem[26].

Od XIII wieku zaznaczył się w Europie postęp w dziedzinie mechanizacji polerowania ściernego, dzięki coraz powszechniejszemu stosowaniu urządzeń o napędzie pasowym, które znane były już wcześniej w krajach azjatyckich, a zwłaszcza w Chinach. W drugiej połowie XIV wieku polerowanie powierzchni sproszkowanym diamentem naturalnym stosowano w rzemiośle jubilerskim.

Rysunek 22 Szkice obrabiarek z XIII i XIV wieku

FIG. 25. Pole lathe. Thirteenth century (Singer, p. 645, Fig. 586).

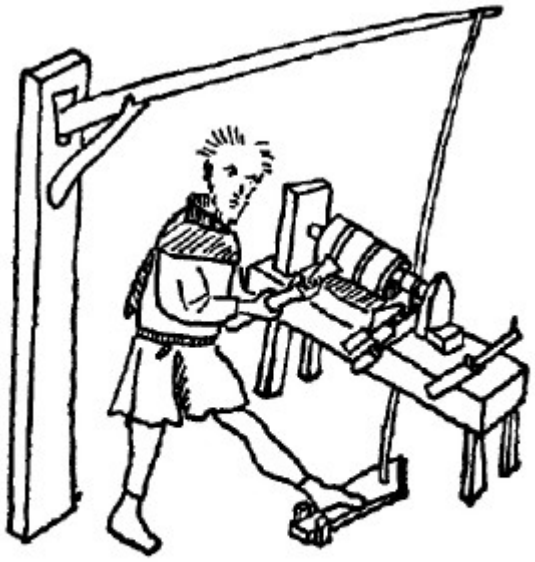


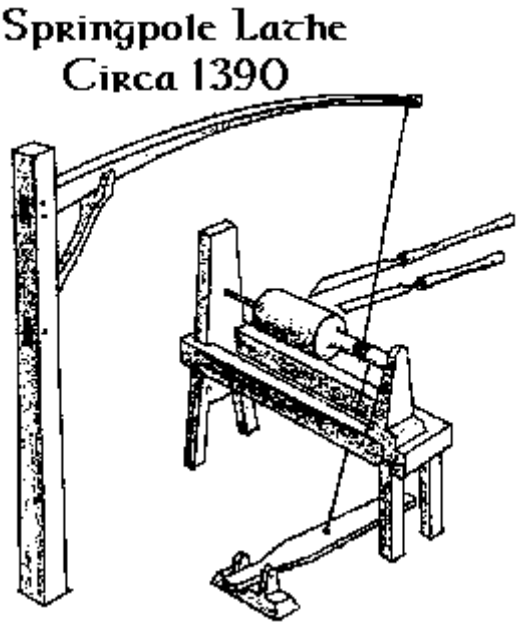
FIG. 26. Pole lathe. Fourteenth century (Klemm, *Technik*, pl. 7b).

Źródło: http://www.historicgames.com/lathes/springpole.html

[25] K. Oczoś, J. Porzycki, Szlifowanie. Podstawy i technika, Wydawnictwa Naukowo- Techniczne, Warszawa 1986, s.17-22

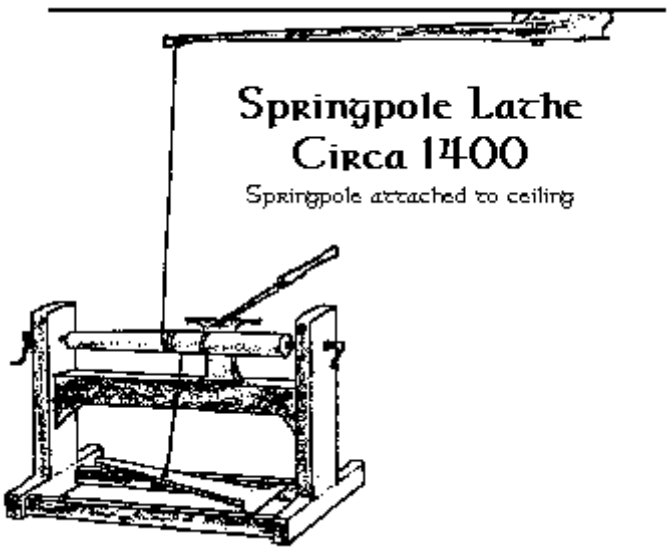
[26] K. Woźniak, Materiały ścierne. Wytwarzanie i własności, Wydawnictwa Naukowo – Techniczne, Warszawa 1982, s.11

Rysunek 23 Obrabiarka z około 1390 roku



Źródło: http://www.historicgames.com/lathes/springpole.html

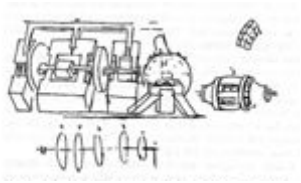
Rysunek 24 Obrabiarka z XIV wieku



Źródło: http://www.historicgames.com/lathes/springpole.html

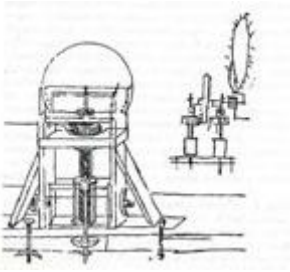
Do XVI wieku niewiele wiedziano o właściwych szlifierkach, jeśli pominąć proste urządzenia do szlifowania kamieni szlachetnych. Leonardo da Vinci, żyjący w latach 1452-1519, swoim wszechstronnym umysłem objął także zagadnienia związane z obróbką ścierną. Patrząc na szkice jego projektów można by sądzić, że ich koncepcja oraz wykonanie pochodzą z XX w.

Rysunek 25Projekt szlifierki wykonany przez Leonarda da Vinci ok. 1500r.



Źródło: K. Oczoś, J. Porzycki, Szlifowanie. Podstawy i technika, Wydawnictwa Naukowo- Techniczne, Warszawa 1986, s.18

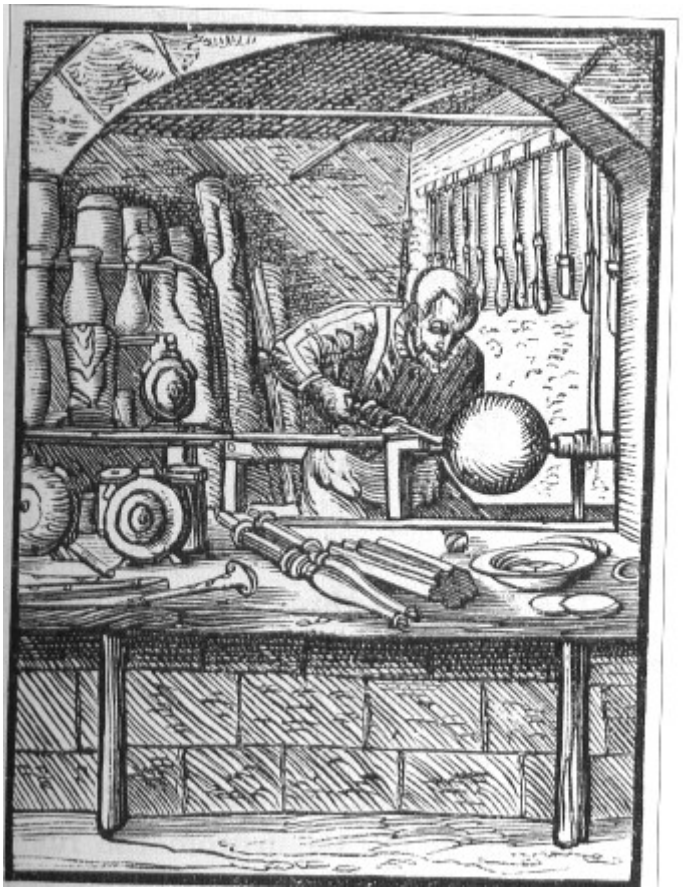
Rysunek 26 Projekt szlifierki do cylindrów wykonany przez Leonarda da Vinci ok. 1500r.



Źródło: K. Oczoś, J. Porzycki, Szlifowanie. Podstawy i technika, Wydawnictwa Naukowo- Techniczne, Warszawa 1986, s.18

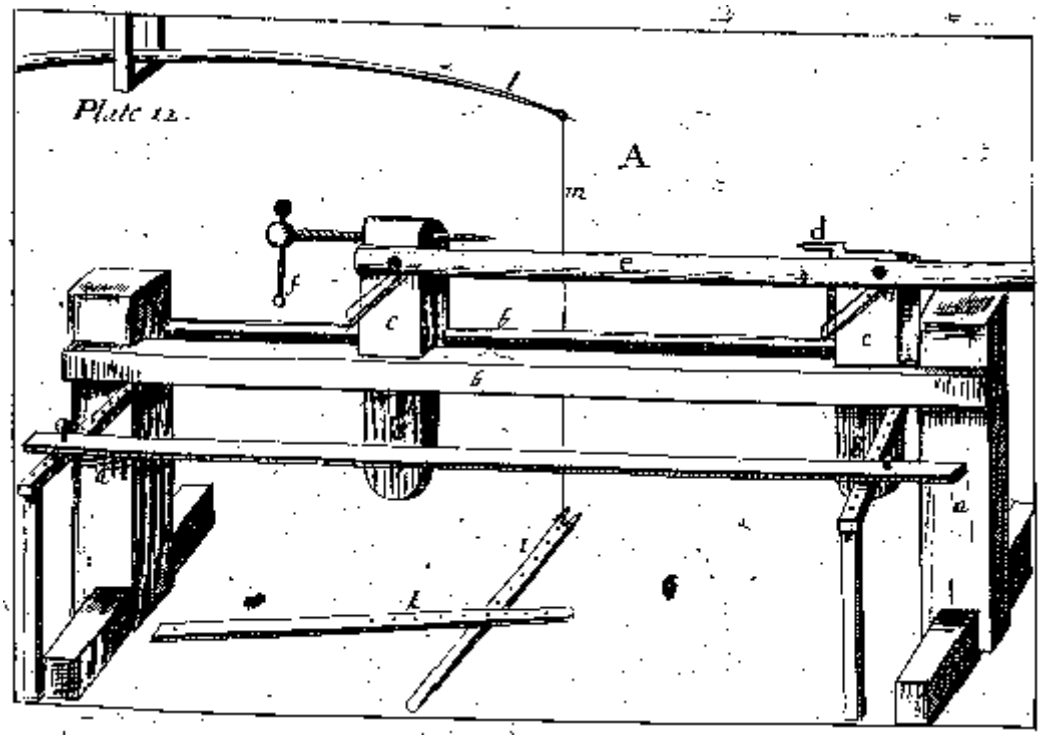
Warto dodać, iż w XVI wieku znano także inne maszyny z grupy obrabiarek. Chociaż nie są to obrabiarki stosowane w obróbce ściernej, lecz w wiórowej obróbce skrawaniem, to należy wspomnieć pokrótce o rozwoju tych maszyn, ponieważ niejednokrotnie niektóre rozwiązania techniczne w nich stosowane, przeniesiono także na obszar konstrukcji obrabiarek używanych w obróbce ściernej (np. idea ułożyskowania wrzeciona).

Rysunek 27 Obrabiarka z XVI wieku



Źródło: http://www.historicgames.com/lathes/springpole.html

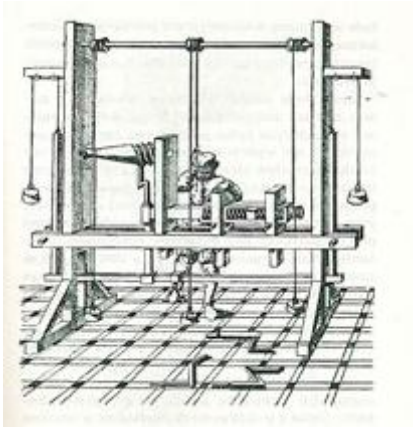
Rysunek 28 Obrabiarka z XVI wieku



Źródło: http://www.historicgames.com/lathes/springpole.html

Wynalazek tokarki przypada najprawdopodobniej na okres średniowiecza, lecz niektórzy badacze twierdzą, że tokarkę stosowano już w okresie brązu[27]. Jednak najdawniejszy znany rysunek tokarki wrzecionowej pochodzi z 1568 roku (nieco tylko wcześniej Besson sporządził rysunek prymitywnej tokarki)[28]. Przedmiot na tej tokarce umocowany był w obracanym uchwycie.

Rysunek 29 Tokarka Bessona do nacinania gwintów



Źródło: S. Lilley, Ludzie, maszyny i historia. Zarys historii rozwoju maszyn i narzędzi na tle przemian społecznych, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa 1958, s.237

Natomiast do połowy szesnastego wieku w użyciu była jedynie bardzo prymitywna tokarka, w której przedmiot obrabiany umieszczony między dwoma nieruchomymi kłami, był wprawiany w ruch obrotowy za pomocą sznura owiniętego dokoła przedmiotu obrabianego i przymocowany jednym końcem do pedału nożnego (na dole), a drugim do giętkiego sprężynującego pręta (w górze).

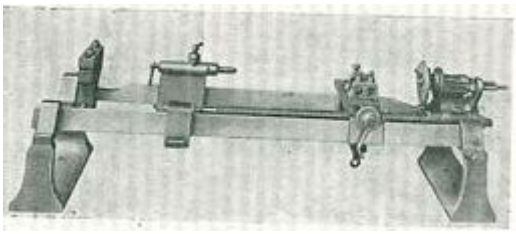
W końcu XVII wieku pojawiły się tokarki z prowadzeniem śrubowym we wrzecionie do nacinania gwintów, w których przedmiot obracał się i przesuwał, w narzędzie pozostawało nieruchome. Metodę tę stosowano szeroko w XVIII wieku. W tym tez okresie zegarmistrzowie zaczęli stosować małe tokarki, w których przedmiot obrabiany tylko się obracał, narzędzie natomiast było odpowiednio przesuwane za pomocą suportu[29].

[27] S. Lilley, Ludzie, maszyny i historia. Zarys historii rozwoju maszyn i narzędzi na tle przemian społecznych, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa 1958, s.87
[28] S. Lilley, Ludzie, maszyny i historia. Zarys historii rozwoju maszyn i narzędzi na tle przemian społecznych, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa 1958, s.235
[29] S. Lilley, Ludzie, maszyny i historia. Zarys historii rozwoju maszyn i narzędzi na tle przemian społecznych, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa 1958, s.235

2.2. Dynamiczny rozwój obróbki ściernej w XIX wieku

Decydującym czynnikiem w przekształceniu prymitywnej tokarki z XVIII wieku w nowoczesną obrabiarkę były prace Henry Maudslaya, żyjącego w latach 1771 –1831[30]. Maudslay był zatrudniony u Brahama (1748-1814)[31], który w 1784 r. skonstruował niezwykle pomysłowy zamek. Zamek ten był tak pewny i bezpieczny, że pomimo znacznej nagrody wyznaczonej za jego otwarcie oczywiście bez użycia kluczy), dopiero w 1851 roku udało się dokonać tej sztuki. Wymagała ona jednak pięćdziesięciu jeden godzin pracy. Bardziej jednak istotną kwestia wiążącą się z tym zamkiem, było to, że zawiłość jego konstrukcji i precyzja wykonania odegrały dużą rolę w rozwoju dokładniejszej obróbki metali[32]. I właśnie wspomniany wcześniej Henry Maudslay pracował u Brahama przy produkcji tychże zamków. Podczas pracy nad rozwiązaniem najlepszej metody produkcyjnej, rozpoczął badania nad udoskonaleniem tokarki, które od roku 1797 prowadził już we własnym warsztacie.

Rysunek 30 Tokarka Maudslaya z roku 1797 do nacinania gwintów



Źródło: S. Lilley, Ludzie, maszyny i historia. Zarys historii rozwoju maszyn i narzędzi na tle przemian społecznych, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa 1958, s.239

Jego tokarka z 1797 roku, w szczególności ulepszony model z roku 1800, dała początek nowej erze w technice.

Rysunek 31 Henry Maudslay

Źródło: http://en.wikipedia.org/wiki/Henry_Maudslay

[30] http://en.wikipedia.org/wiki/Henry_Maudslay z dnia 10 maja 2008 r.
[31] http://en.wikipedia.org/wiki/Joseph_Bramah z dnia 10 maja 2008 r.
[32] S. Lilley, Ludzie, maszyny i historia. Zarys historii rozwoju maszyn i narzędzi na tle przemian społecznych, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa 1958, s.163

Wielką zasługą Maudslaya w dziele rozwoju tokarki były dwa wprowadzone przez niego udoskonalenia, które znacznie przyczyniły się do zwiększenia dokładności wykonania prac tokarskich i umożliwiły zastosowanie w tokarkach suportu krzyżowego. Tymi udoskonaleniami były: wprowadzenie całkowicie metalowej konstrukcji tokarki oraz metoda wykonania dokładnej śruby pociągowej o dostatecznej długości, umożliwiającej posuw narzędzia wzdłuż całej długości obrabianego przedmiotu.

Konstrukcja tokarki wykonana całkowicie z metalu zamiast dotychczasowej konstrukcji drewnianej z niektórymi tylko częściami metalowymi, może nie wydawać się tak bardzo doniosłym ulepszeniem, jednak uzyskana przez to sztywność tokarki stanowiła podstawę dalszego postępu w zakresie obróbki skrawaniem. Ciągłe i niezwykle staranne prace Maudslaya nad metodami dokładnego nacinania gwintów wprowadziły po roku 1800 zasadnicze zmiany w metodach obróbki skrawaniem. Dalsze postępy w rozwoju obróbki gwintów i innych metod dokładnej obróbki skrawaniem były wynikiem prac prowadzonych od roku 1833 przez Józefa Whitwortha, który był początkowo jednym z pracowników Maudslaya.

W latach 1815-1840 w wyniku prac szeregu angielskich techników została udoskonalona strugarka, jedna z podstawowych obrabiarek w obróbce metali. Rozwój metod dokładnej obróbki części maszyn oraz rozpowszechnianie się tych metod było ściśle związane z masową produkcją przemysłową opartą na zasadzie wymienności części maszyn.

Warto dodać o istotnym wkładzie w rozwój maszyn stosowanych w obróbce ściernej amerykańskiego wynalazcy i przedsiębiorcy, Eli'ego Whitneya, żyjącego w latach 1765-1825[33].

[33] http://pl.wikipedia.org/wiki/Eli_Whitney z dnia 10 maja 2008 r.

Rysunek 32 Eli Whitney

Źródło: http://pl.wikipedia.org/wiki/Eli_Whitney

Eli Whitney znany jest przede wszystkim z tego, że skonstruował odziarniarkę bawełny (patent z 4 marca 1794), czyli maszynę do mechanicznego oddzielania nasion bawełny od włókien. Maszyna ta zmniejszyła ogromnie koszty uprawy bawełny. Dzięki mechanizacji procesu oczyszczania bawełny wydajność jednego pracownika wzrosła 50-krotnie. Wśród innych pomysłów Whitney'a, duże znaczenie dla rozwoju przemysłu miał pomysł wykorzystania linii montażowej w produkcji masowej. Pomysł ten wykorzystał z powodzeniem Henry Ford, a później także inni przemysłowcy. Właśnie Whitney dał początek upowszechnianiu rozbitego na operacje i zabiegi ciągłego procesu produkcyjnego. Ciągłość miała zapewnić nieprzerwana, rytmiczna praca maszyn roboczych – obrabiarek uruchamianych z pomocą przekładni pasowych z głównego wału, napędzanego energią spadku wody rzecznej. We wszystkim tym tkwił jednak zasadniczy szkopuł. Whitney nie bez racji narzekał na „nikczemny stan rzemiosła mechaników". Zastępując robotników wykwalifikowanych przyuczonymi przez zastosowanie maszynami z ich oprzyrządowaniem, wiedział, że te tokarki, strugarki, frezarki, szlifierki i inne maszyny do wykonywania potrzebnych operacji trzeba dopiero stworzyć. Budował je więc sam- powoli, systematycznie, przezwyciężając liczne trudności. Nie były to może obrabiarki w pojęciu dzisiejszym, ponieważ nie mogło być mowy o dokładnościach do setnych części milimetra. Jednak z pewnością ich konstrukcja przyniosła wielki postęp w rozwoju obróbki mechanicznej. Produkcja seryjna, a następnie masowa w warsztatach Whitneya charakteryzowała się niestety niedokładnością, wadami wykonania oraz mała trwałością wyrobów.

Gdy w roku 1927 Henry Ford musiał zaniechać dalszej produkcji wozów słynnego modelu „T", trzeba było przestawić produkcję na bardziej nowoczesny model „A". Wymagało to stworzenia nowych metod produkcji, modernizacji parku maszynowego, całkowitego ich przezbrojenia. Jednak Ford dysponował już wówczas wspaniałym zespołem konstruktorów, warsztatowców, organizatorów, którzy potrafili podołać temu zadaniu. Pochłonęło ono mimo to dużo czasu i ogromną ilość środków pieniężnych. Zdawałoby się, że w porównaniu Z Fordem, kłopoty Whitneya były bagatelne. Jednak ten wynalazca nie miał wokół siebie nikogo do pomocy, a wszystko od początku do końca musiał przemyśleć sam. Dlatego jego skromne warsztaty nad rzeką Mill River można z całą pewnością uznać za prototyp potężnych zakładów Forda nad rzeką River Rouge[34].

Dynamiczny rozwój metod obróbki skrawaniem datuje się na wiek XIX. Właśnie wtedy zostały wyprodukowane specjalne maszyny pracujące z dużą szybkością i zapewniające wysoką i niezmienną dokładność wykonania. Wspomniany Whitney w 1818 roku wynalazł frezarkę, w tym samym roku Blanchard wynalazł tokarkę do toczenia według wzornika. Około roku 1845 pojawiła się tokarka- rewolwerówka. Około roku 1835 wprowadzono znaczne ulepszenia w metodach kucia mechanicznego, prasowania w matrycach i toczenia szablonowego. W roku 1855 Samuel Colt, którego rewolwery produkował Whitney, uruchomił własny zakład przemysłowy. Colt zaangażował do swej fabryki Elisha K. Roota, wybitnego organizatora i mechanika, który zaprojektował wiele nowych narzędzi i maszyn. W produkcji zastosował on najlepsze, z dostępnych wówczas, narzędzia i maszyny, co było bezpośrednim bodźcem do rozpoczęcia intensywnych prac nad stworzeniem jeszcze lepszych narzędzi i maszyn. W następnych kilku dziesięcioleciach ukazały się: uniwersalna frezarka (lata 1861-1862), automatyczna tokarka, w której kilka różnorodnych narzędzi wykonywało kolejno pracę automatycznie, a czynności robotnika sprowadzały się do nadzoru i zaopatrywania obrabiarki w materiał w postaci prętów oraz wielowrzecionowa tokarka, w której praca, złożona z jednej lub kilku różnorodnych operacji, była wykonywana kolejno na poszczególnych wrzecionach.

[34] A. Liebfeld, Ojcowie postępu technicznego, Wiedza Powszechna, Warszawa 1970, s.277-278

Rysunek 33 Tokarka automatyczna i przedmioty na niej wykonane

Źródło: S. Lilley, Ludzie, maszyny i historia. Zarys historii rozwoju maszyn i narzędzi na tle przemian społecznych, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa 1958, s.247 i 249

Właśnie tokarka wielowrzecionowa dała początek wysoko zautomatyzowanym obrabiarkom, takim jak na przykład „Mult-Au-Matic", które ukazały się przed pierwszą wojną światową. W maszynach tych obrabiany przedmiot przechodził kolejno przez kilka stanowisk, na których mógł być poddany takim operacjom, jak toczenie, wiercenie, planowanie, gwintowanie, rozwiercanie i wytaczanie[35].

Rysunek 34„Mult-Au-Matic"

Źródło: S. Lilley, Ludzie, maszyny i historia. Zarys historii rozwoju maszyn i narzędzi na tle przemian społecznych, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa 1958, s.251

W roku 1894 Charles Hotchkiss Norton, urodzony w 1851 w Plainville[36], skonstruował pierwszą szlifierkę do wałków, pracując dla firmy Brown& Sharpe[37]. Sprawiło to, że wtedy nastąpił rozwój obrabiarek przeznaczonych do szlifowania.

[35] S. Lilley, Ludzie, maszyny i historia. Zarys historii rozwoju maszyn i narzędzi na tle przemian społecznych, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa 1958, s. 240-252
[36] http://en.wikipedia.org/wiki/Charles_H._Norton_Housez dnia 10 maja 2008 r.
[37] M. Koryciński, Szlifowanie i szlifierki bezkłowe, Wydawnictwa Naukowo- Techniczne, Warszawa 1971, s.7

2.3. Odkrycia w obszarze materiałów ściernych do połowy XX wieku

Mając na uwadze opisanie historii obróbki ściernej, nie można zapomnieć o bardzo istotnej kwestii, którą jest rozwój w obszarze materiałów ściernych.

Historycznie ujmując, w rozwoju materiałów ściernych wyszczególnić można cztery okresy tego rozwoju. Pierwszy okres rozpoczął się około 800 lat p.n.e., kiedy to na greckiej wyspie Naxos, o czym było już wspomniane w podrozdziale 2.1., odkryto złoża zanieczyszczonego magnetytem, hematytem i kwarcem drobnoziarnistego korundu naturalnego, nazwanego później szmerglem. Okres ten trwał aż do końca XIX wieku n.e. i dlatego często w literaturze kierunkowej zwany jest „erą szmergla". Drugi okres rozpoczął się na przełomie XIX i XX wieku, kiedy to dokonano udanych syntez węglika krzemu, elektrokorundu oraz węglika boru (syntezy te omówione zostaną szerzej w dalszej części tego podrozdziału). Okres ten trwał blisko 100 lat i jest określany „wiekiem elektrokorundu". W tym okresie opracowano i wdrożono do produkcji procesy technologiczne czarnego i zielonego węglika krzemu, zwykłego, półszlachetnego i szlachetnego elektrokorundu, elektrokorundów stopowych i elektrokorundu sferycznego oraz monokryształów węglika krzemu i elektrokorundu. Ostatnim akordem rozwoju tych klasycznych już materiałów ściernych było wytwarzanie trójfazowych i czterofazowych elektrokorundów stopowych powlekanych warstwami metalicznymi lub dewitryfikatami oraz elektrokorundów ferromagnetycznych na potrzeby obróbki magnetościernej.

Trzeci okres rozwoju materiałów ściernych datowany jest od połowy XX wieku i trwał do roku 1975. Okres ten zapoczątkowany został seria przełomowych opracowań naukowych w zakresie technologii uzyskiwania syntetycznego diamentu i regularnego azotku boru. Począwszy od roku 1957 roku uruchomiono produkcję supertwardych materiałów ściernych na skalę przemysłową. Okres ten można określić „ okresem ścierniw supertwardych". Czwarty okres rozpoczął się w roku 1975 i można nazwać go „okresem ścierniw spiekanych"[38]. Będzie on opisany w następnym rozdziale.

W XIX wieku, rozwijający się przemysł wymagał coraz twardszych i trwalszych narzędzi ściernych. Dlatego wraz z rozwojem szlifierek nastąpił szybki rozwój metod wytwarzania sztucznych materiałów ściernych. Umożliwiły one rozwój szlifowania mechanicznego, które w wielu przypadkach prawie zupełnie zastąpiło wiórową obróbkę skrawaniem. Szlifowanie mechaniczne pozwala na otrzymanie znacznie gładszych powierzchni obrabianych niż przy wiórowej obróbce skrawaniem oraz na znacznie większą

[38] C. Niżankowski, L. Przybylski, Materiały i narzędzia ścierne- trendy rozwoju w XXI wieku, XXV Naukowa Szkoła obróbki Ściernej, Wrocław – Duszniki Zdrój, 11-14 września 2002, s.18-19

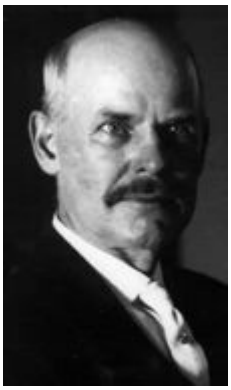
dokładność wykonania, dzięki czemu jest obecnie niezastąpiona metodą technologiczną na przykład przy produkcji silników spalinowych. W 1887 wspomniany wcześniej Norton wykonał pierwszą ściernicę o spoiwie ceramicznym, które wiązało ziarno ścierne z rozdrobnionego korundu naturalnego[39]. Produkcja sztucznych materiałów ściernych rozpoczęła się w 1893 r. w Stanach Zjednoczonych, kiedy to Acheson otrzymał węglik krzemu SiC, zwany karbokorundem (według innego źródła w 1891[40]), który był twardszy niż naturalne materiały ścierne używane do tego czasu.

Rysunek 35 Karbokorund

Źródło: http://chem.ch.huji.ac.il/history/acheson.html

Edward Goodrich Acheson, żyjący w latach 1856 -1931), był amerykańskim inżynierem i chemikiem. Urodził się w Waszyngtonie. Oprócz wynalezienia karborundu, jest też autorem metody otrzymywania grafitu (piec Achesona).

Rysunek 36 Edward Goodrich Acheson



Źródło: http://chem.ch.huji.ac.il/history/acheson.html

[39] K. Woźniak, Materiały ścierne. Wytwarzanie i własności, Wydawnictwa Naukowo – Techniczne, Warszawa 1982, s.11
[40] L. Kwapisz, J. Rafałowicz, Szlifierki, Wydawnictwa Naukowo- Techniczne, Warszawa 1992, s. 10

Jego inżynierski talent odkrył Thomas Edison, który 12 września 1880 skierował go do pracy w Menlo Park (New Jersey). Acheson pracował tam (pod kierownictwem Johna Kruesi) nad otrzymaniem przewodzącego węgla, który Edison mógłby wykorzystać w swoich elektrycznych żarówkach.

W 1884 r. Acheson jednak opuścił firmę Foresterów i został kierownikiem zakładu produkującego lampy elektryczne. Tam też rozpoczął badania nad otrzymaniem materiałów ściernych, między innymi sztucznych diamentów w piecu elektrycznym.

Rysunek 37Acheson w swoim laboratorium

Źródło: http://chem.ch.huji.ac.il/history/acheson.html

To właśnie w trakcie tych eksperymentów, na skutek podgrzania mieszaniny glinki i koksu w żelaznym zbiorniku z węglowymi elektrodami, przy elektrodzie powstał lśniący, heksagonalny kryształ, węglik krzemu. Acheson opatentował karborund 28 lutego 1893.

W 1894 założono fabrykę Carborundum Company w Monongahela City w Pensylwanii.

Rysunek 38 The Carborundum Company

Źródło: http://chem.ch.huji.ac.il/history/acheson.html

Rysunek 39 Okładka prospektu Carborundum Company

Źródło: http://chem.ch.huji.ac.il/history/acheson.html

W okresie międzywojennym odkrycie węglika krzemu uznane zostało przez amerykańskie biuro patentowe za jeden z 22 kluczowych dla rozwoju przemysłu patentów.[41]

Następnym krokiem w rozwoju materiałów ściernych było wyprodukowanie we Francji w 1894 r. topionego w piecu elektrycznym tlenku glinu[42]. Około roku 1900 otrzymano trójtlenek aluminium Al_2O_3, zwany elektrokorundem. Karbokorund i elektrokorund są stosowane do chwili obecnej i tylko w niektórych rodzajach szlifowania są wypierane przez diament naturalny i syntetyczny oraz regularny azotek boru.

Zastosowanie diamentu w technice ma długą historię. Obecnie najczęściej stosowany jest do cięcia metali, wiercenia i obróbki powierzchniowej materiałów konstrukcyjnych, materiałów twardych i supertwardych. Jednak już około 300 lat p.n.e. można wskazać na najstarsze przypadki zastosowania diamentu. Wtedy używano go do celów grawerskich. Informacje o handlu narzędziami grawerskimi pomiędzy Indiami i Chinami pochodzą z 150 r. p.n.e. W 1773 roku zastosowano diamentowe, nakładane narzędzie do operacji toczenia precyzyjnego. Natomiast diament jako „oczko" ciągadła wykorzystano w Anglii w roku 1819. W XVIII i XIX wieku diament stosowany był do drążenia skał. W roku 1842 Pitchard opisał szlifowanie i polerowanie soczewek mikroskopu przy użyciu ścierniwa diamentowego wbitego w odlewane z żeliwa narzędzie. Pierwszy patent dotyczący ściernic diamentowych opracował A.L. Caverdon we Francji w roku 1878. Patent ten opisywał wykonanie narzędzia zawierającego drobne kryształy diamentu, zakleszczone we wgłębieniach wykonanych na powierzchni metalowego kółka. Podobna metoda została opisana w1906 r. przez Carla Zeissa. W roku 1928 natomiast, w firmie Krupp w Niemczech, wynaleziono ściernice ze spoiwem żywicznym. Opatentowano je w latach 1932 i 1933[43].

Poważnym ograniczeniem zastosowania narzędzi skrawających, wykonanych z diamentu, jest stosunkowo wysoka cena proszków. Natomiast ograniczeniem zastosowania diamentu naturalnego jest brak naturalnych kryształów o odpowiedniej wielkości. Obecnie zastosowanie diamentu naturalnego stanowi 10% zastosowań diamentu dla celów technicznych, 90% natomiast stanowi zastosowanie diamentu syntetycznego.

Badania nad syntezą diamentów zapoczątkowano w pierwszej połowie XIX w. (W. N. Karazin, B. Silliman i in.). Jednak pierwsze pojedyncze diamenty, w warunkach

[41] http://pl.wikipedia.org/wiki/Edward_Goodrich_Acheson z dnia 10 maja 2008 r.
[42] L. Kwapisz, J. Rafałowicz, Szlifierki, Wydawnictwa Naukowo- Techniczne, Warszawa 1992, s. 10
[43] L. Jaworska, Diament, otrzymywanie i zastosowanie w obróbkach skrawaniem, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 2007r., s. 25-27

laboratoryjnych, otrzymano dopiero w 1880 r. (J. B. Hannay). Musiało upłynąć wiele dziesięcioleci aby można było ze skali laboratoryjnej przejść na skalę techniczną[44].

Syntezą diamentu w latach 1953-1958 zajmowały się trzy niezależne zespoły naukowców z firm ASEA w Szwecji, General Electric w USA oraz De Bers w RPA[45]. Jednak za początek wielkiej syntezy przyjmuje się 1955 r., kiedy to zespół F. P. Bundy'ego z General Electric Company (Scheneetady, Nowy Jork) otrzymał pierwszą, większą partię syntetycznych diamentów przemysłowych, o masie pojedynczych egzemplarzy poniżej 0,10 ct.

Rysunek 40 Diamenty syntetyczne

Źródło: http://en.wikipedia.org/wiki/Synthetic_diamond

Przy podejmowaniu badań większość uczonych swoją uwagę koncentrowała na możliwości syntetyzowania diamentów z grafitu, a ściślej na przeprowadzaniu grafitu w diament. Grafit i diament to dwie krystaliczne odmiany węgla znacznie różniące się właściwościami fizycznymi i strukturą. Grafit krystalizuje w układzie trygonalnym lub heksagonalnym, natomiast diament w układzie regularnym. Bezpośrednie przejście grafitu w diament zachodzi w temperaturze ok. 2800^{o}K i pod ciśnieniem rzędu 12000 MPa. Zbudowanie aparatury, która wytrzymałaby tak wysokie ciśnienie i temperaturę, było niezwykle trudne, zwłaszcza biorąc pod uwagę przemysłową skalę produkcji. Metodę te określano skrótowcem HPHT (od ang. *High Pressure and High Temperature*).

Początkowo syntezowane diamenty były niewielkie i zdefektowane. W wyniku doskonalenia procesów syntezy udało się otrzymać diamenty o dobrych cechach jakościowych i wielkości umożliwiającej ich obróbkę. Ponieważ wszystkie procesy syntezy są strzeżone tajemnicą patentową, można jedynie przedstawić ich ogólną charakterystykę. W przypadku General Electric Company (USA) istota procesu polegała m.in. na umieszczeniu w specjalnej komorze, o dużym gradiencie temperaturowym, małych kryształów zarodziowych diamentu, w kontakcie z metalami (żelazo, nikiel), które powodowały rozpuszczanie grafitu. Występująca różnica temperatur pomiędzy środkową częścią komory (ok. 1730 ^{o}K) a jej

[44] http://www.ptgem.pl/pokaz.php?id=31 z dnia 10 maja 2008 r.
[45] L. Jaworska, Diament, otrzymywanie i zastosowanie w obróbkach skrawaniem, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 2007r., s. 26

częścią dolną i górną (ok. 30^{o}K) sprawiała, że najwięcej grafitu rozpuszczało się w części środkowej. Następnie, w wyniku różnicy stężeń, część grafitu dyfundowała do części chłodniejszej, gdzie następowało jego „odkładanie" na kryształach zarodziowych. Szybkość wzrostu diamentów wynosiła ok. 0,010... 0,013 ct/godz., a ich wielkość zależała od wielkości kryształów zarodziowych. W optymalnych warunkach średnica syntezowanych diamentów osiągała ok. 5 mm[46].

Azotek boru (BN) jest to nieorganiczny związek chemiczny boru i azotu. Jego syntezę przeprowadzono po raz pierwszy w 1842 roku, jednak regularny azotek boru (cBN) (borazon), supertwardy materiał ścierny, wytworzony został po raz pierwszy dopiero w USA w 1957 roku przez Roberta H. Wentorfa Juniora[47], pracującego dla General Electric Company, przy pomocy aparatury stosowanej do uzyskiwania syntetycznych diamentów[48].

Diament i borazon określa się mianem materiałów supertwardych ze względu na ich wyraźnie wyższą twardość w porównaniu do tradycyjnych materiałów ściernych jak korund (Al_2O_3) czy karborund (SiC). Diament i borazon wykorzystywane są jako materiały ścierne w wysokowydajnych procesach obróbki szlifierskiej. Główne zalety stosowania narzędzi ściernych wykonanych z wyżej wymienionych materiałów to duża żywotność powiązana z zachowaniem profilu narzędzia, krótki czas obróbki, krótsze czasy pomocnicze ze względu na rzadszą wymianę narzędzi, eliminacja uszkodzeń termicznych obrabianych materiałów wskutek niższych temperatur szlifowania, zapewnienie jednolitej jakości powierzchni obrabianych przedmiotów. Ze względu na powinowactwo chemiczne diamentu do żelaza narzędzia diamentowe nie konkurują z borazonowymi – obszary ich zastosowania nie pokrywają się, lecz uzupełniają. Diament cechuje się najwyższą twardością wśród wszystkich materiałów ściernych znanych człowiekowi. Jego twardość i odporność na zużycie oraz wysoka wytrzymałość termiczna szczególnie predestynują go do użycia przy szlifowaniu trudno obrabialnych materiałów. Diamentowe narzędzia ścierne idealnie nadają się do obróbki materiałów takich jak węgliki spiekane, szkło i ceramika, ferryt, krzem, grafit, tworzywa utwardzalne i wzmocnione włóknem szklanym, kamienie naturalne czy też materiały żaroodporne. Borazon natomiast jest drugim pod względem twardości sztucznie wytworzonym materiałem ściernym. W odróżnieniu od diamentu nie ulega on niekorzystnym przemianom pod wpływem działania żelaza, dzięki czemu doskonale nadaje się do obróbki wszelkiego rodzaju stali stopowych. Borazonowe narzędzia ścierne przeznaczone są do

[46] http://www.ptgem.pl/pokaz.php?id=31 z dnia 10 maja 2008 r.
[47] http://en.wikipedia.org/wiki/Borazon z dnia 10 maja 2008 r.
[48] http://pl.wikipedia.org/wiki/Azotek_boru z dnia 10 maja 2008 r.

obróbki: stali szybkotnących (HSS), stali narzędziowych, stali do nawęglania, stali łożyskowych, stali nierdzewnych i wysokostopowych o twardości >55HRC[49].

Opanowanie metod produkcji sztucznych materiałów ściernych i innowacje w nich zastosowane spowodowały zwiększenie opłacalności stosowania obróbki ściernej i stały się milowym krokiem w jej rozwoju.

3. Innowacje w obszarze obróbki ściernej w XX wieku.

3.1. Postęp na polu obróbki ściernej do połowy XX wieku-automatyzacja.

W dziedzinie masowej produkcji oraz w budowie obrabiarek z nią związanych pierwsze miejsce do roku 1914 zajmował przemysł amerykański. Nawet w przemyśle brytyjskim nowe metody produkcji przyjmowały się powoli. Dopiero po 1863 roku, kiedy Brytyjska Mała Komisja Zbrojeniowa zaleciła stosowanie w przemyśle zbrojeniowym tak zwanego wówczas „systemu amerykańskiego", zaczęły one powoli wchodzić w życie. Mimo to jeszcze w 1914 roku istniały w Anglii zakłady przemysłowe, w których stosowano długą i pracochłonną obróbkę ręczną za pomocą pilników do zabiegów, które mogły być wykonane z o wiele większym skutkiem przez frezowanie lub szlifowanie mechaniczne[50].

Pierwsza wojna światowa zmieniła radykalnie ten stan rzeczy przez wywołanie nagłego, nie mającego precedensu, zapotrzebowania na olbrzymie ilości precyzyjnie wykonanej broni i innych artykułów. E. Cressy (*A Hundred Years of Mechanical Engineering*, London 1937, s. 212) tak opisuje to zjawisko: „Setki zakładów przemysłowych, w których stal szybkotnąca była znana raczej tylko z nazwy, zaczęły stosować ją regularnie. Wiele obrabiarek automatycznych, szczególnie frezarek i szlifierek, zostało wprowadzonych do produkcji w małych zacofanych warsztatach mechanicznych, w których zaczęto je uważać za niezbędne i istotne wyposażenie parku maszynowego. Stosowanie specjalnych uchwytów do przedmiotów o złożonych i nieregularnych kształtach oraz precyzyjnych sprawdzianów przy produkcji części wymiennych rozpowszechniło się w niebywałym zakresie pod naciskiem potrzeb wojennych".

Niezwykle istotnym etapem rozwoju obróbki ściernej były innowacyjne pomysły w obszarze szlifowania bezkłowego, które doprowadziły do ogromnego postępu w tej dziedzinie. Około roku 1910 powstały pierwsze konstrukcje szlifierek bezkłowych i dzięki

[49] http://www.inter-diament.com.pl/zywica_pliki/poradnik_z.html z dnia 10 maja r.
[50] S. Lilley, Ludzie, maszyny i historia. Zarys historii rozwoju maszyn i narzędzi na tle przemian społecznych, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa 1958, s.254-255

temu nastąpił rozwój szlifowania bezkłowego wałków. Początkowo szlifowanie bezkłowe zastosowano do szlifowania długich i cienkich prętów, których obróbka na szlifierkach kłowych była trudna i mało wydajna, ponieważ podczas szlifowania kłowego siły skrawania powodują odpychanie pręta od ściernicy, zwiększając tym samym błędy kształtu i czas wyiskrzania. W roku 1913 zbudowano szlifierkę bezkłową pracującą według zasady, że ściernica i tarcza prowadząca pracują powierzchniami czołowymi. Metodę tę wykorzystano w latach 30-tych przy zastosowaniu pochylenia osi tarczy prowadzącej w stosunku do osi ściernicy. Jednak ten sposób w następnych latach został zarzucony. Szlifowanie bezkłowe znalazło zastosowanie do szlifowania gwintów. Jednym z pierwszych był sposób polegający na tym, że podtrzymka miała nacięty odpowiedni gwint i powierzchnię górną nachyloną pod odpowiednim kątem, który odpowiadał kątowi pochylenia nacinanego gwintu. Osie ściernicy i tarczy prowadzącej były równoległe, a linia łącząca ich środki przechodziła przez środek przedmiotu. Jednakże układ ten nie przyjął się w przemyśle. Ostatecznie szlifowanie bezkłowe zastosowano do szlifowania otworów w cienkościennych przedmiotach. Poza tym stosuje się polerowanie bezkłowe i dogładzanie wałków, którego powstanie datuje się na okolice roku 1935[51].

Szlifowanie zaczęło zastępować obróbkę skrawaniem przy precyzyjnej obróbce wykańczającej. Zakres stosowania szlifierek bezkłowych od lat dwudziestych stale się powiększał. Dzięki temu szlifowanie rozpowszechniało się w coraz większym stopniu.

Należy stwierdzić, że najbardziej godnym uwagi, wraz z nadejściem XX wieku, był postęp w dziedzinie automatyzacji maszyn i urządzeń. Aparatura i wyposażenie do automatycznej kontroli prac maszyn i procesów technologicznych stanowił w USA w roku 1923 8% ogólnej sprzedaży maszyn, a w roku 1939 już 35%. Najprostszą formą automatów były tokarki oraz podobne maszyny wyposażone w urządzenia do kontrolowania wykonywanej pracy i do zatrzymywania obrabiarki w chwili uzyskania wymaganych wymiarów obrabianego przedmiotu i zakończenia przeprowadzanej operacji. Najbardziej złożoną formą automatyzacji na duża skalę była wytwórnia ram podwozi samochodowych, należąca do firmy A.O. Smith and Co (Milwaukee, USA), w której co osiem sekund powstawała gotowa rama (około 10 000 ram podwozi dziennie), nie dotknięta w czasie produkcji ludzką ręką. Załoga tej wytwórni składała się ze stu dwudziestu osób, przeważnie kontrolerów i obsługi technicznej, tak, że na jedną ramę przypadała robocizna w wysokości

[51] M. Koryciński, Szlifowanie i szlifierki bezkłowe, Wydawnictwa Naukowo- techniczne, Warszawa 1971r., s. 7-9

około 60 roboczominut. Wytwórnia ta produkowała 75% ram do podwozi samochodów używanych w USA, poza samochodami Forda, który posiadał własną ich wytwórnię[52].

Automatyzacja jak w każdej dziedzinie techniki, tak i w obróbce ściernej pozwoliła na znaczne podniesienie warunków pracy oraz na poważne podniesienie jakości wytwarzanych produktów. Skutkiem wprowadzenia automatyzacji był znaczący wzrost wydajności pracy, wynoszący 5-, 10-, 20-krotną, a niekiedy nawet 100- krotną wydajność produkcyjną przy tej samej ilości włożonej pracy[53].

Warto dodać, że przemysł budowy obrabiarek do metali odegrał nader istotną rolę w zwiększeniu wydajności produkcji. Wytwarzał on w znacznie zwiększonej skali wobec wzrostu zapotrzebowania, różnorodne, wysoko wydajne obrabiarki, szczególnie obrabiarki o mocnej i sztywnej budowie, niezbędne przy stosowaniu narzędzi z węglików spiekanych. Obrabiarki, wyrabiane dotychczas pojedynczo lub w małych seriach, w okresie wojennym zaczęto produkować w sposób masowy. Według dostępnych danych statystycznych w USA w okresie przed II wojną światową ogólna wartość sprzedanych obrabiarek osiągnęła w latach 1918, 1929, 1937 i 1939 najwyższą wartość wynoszącą 200 milionów dolarów. W roku 1942 sprzedano obrabiarki za sumę 1300 milionów dolarów, a przeciętna w latach 1940-1943 wynosiła 900 milionów rocznie, czyli 4,5 raza więcej niż w najpomyślniejszych latach przedwojennych. Przy końcu 1939 roku w USA wartość czynnych obrabiarek, konstrukcji nie starszej od 14 lat, wynosiła 1500 milionów dolarów, a pod koniec 1943 roku już 4500 milionów dolarów. Poza ogromną rola, jaką odegrały nowoczesne obrabiarki podczas wojny, również ich wpływ na podniesienie poziomu życia w okresie powojennym był także olbrzymi[54].

Bardzo istotnym wydarzeniem z punktu widzenia rozwoju obróbki ściernej było opracowanie przez firmę 3M na początku lat 20. XX wieku pierwszego na świecie wodoodpornego papieru ściernego, który zmniejszał ilość pyłu zawieszonego w powietrzu podczas produkcji samochodów[55]. Papier ścierny jest jednym z rodzajów wyrobów ściernych przeznaczonych do obróbki ściernej powierzchni przedmiotów wykonanych z takich materiałów jak drewno, metal, tworzywo sztuczne[56].

---

[52] S. Lilley, Ludzie, maszyny i historia. Zarys historii rozwoju maszyn i narzędzi na tle przemian społecznych, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa 1958, s.261-263
[53] S. Lilley, Ludzie, maszyny i historia. Zarys historii rozwoju maszyn i narzędzi na tle przemian społecznych, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa 1958, s.354
[54] S. Lilley, Ludzie, maszyny i historia. Zarys historii rozwoju maszyn i narzędzi na tle przemian społecznych, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa 1958, s.327-328
[55] http://solutions.3m.com/wps/portal/3M/pl_PL/about-3M/information/more-info/history/z dnia 15 maja 2008 r.
[56] http://pl.wikipedia.org/wiki/Papier_%C5%9Bcierny z dnia 15 maja 2008 r.

Rysunek 41 Arkusz papieru ściernego

Źródło: http://pl.wikipedia.org/wiki/Papier_%C5%9Bcierny

Rysunek 42 Papier ścierny

Źródło: http://en.wikipedia.org/wiki/Sandpaper

Firma 3M została powołana do życia w 1902 r. w położonym nad jeziorem Lake Superior mieście Two Harbors, w stanie Minnesota. Założyło ją pięciu biznesmenów, którzy podjęli decyzje o eksploatacji złóż mineralnych na potrzeby materiałów ściernych dla ściernic. Okazało się jednak, iż złoża miały niewielką wartość i w 1905 r. firma Minnesota Mining and Manufacturing przeniosła się do pobliskiego Duluth, aby skoncentrować się na produkcji papieru ściernego. Po długich latach zmagań firmie udało się rozpocząć wysokiej jakości produkcję. Fakt ten przyciągnął do 3M nowych inwestorów i w 1910 r. firma przeniosła się do St. Paul. Wczesne innowacje w dziedzinie techniki i marketingu zaowocowały pierwszymi sukcesami - w 1916 r. firma wypłaciła pierwszą dywidendę w wysokości 6 centów za 1 akcję[57].

Można zaryzykować stwierdzenie, że rozwój praktycznie wszystkich urządzeń i maszyn nabrał największego rozpędu w XX wieku, w szczególności w jego drugiej połowie. Tak też się stało w obszarze obróbki ściernej. Nie sposób opisać wszystkich innowacji, które powstawały w tej dziedzinie, dlatego należy ograniczyć się do wybranych przykładów innowacji w trzech obszarach, a mianowicie materiałów i narzędzi ściernych, technologii oraz obrabiarek. W każdym z tych nich wdrażano nowe pomysły, które odniosły powodzenie bądź

[57] http://solutions.3m.com/wps/portal/3M/pl_PL/about-3M/information/more-info/history/z dnia 15 maja 2008 r.

nie. W pracy opisane zostaną najistotniejsze przykłady innowacji, które umożliwiły tak wielki postęp na polu obróbki ściernej.

3.2. Innowacje w obszarze materiałów i narzędzi ściernych w drugiej połowie XX wieku i na początku wieku XXI.

Jak zostało już wspomniane, czwarty okres rozwoju materiałów ściernych rozpoczął się w roku 1975 i nazwano go „okresem ścierniw spiekanych". Wówczas właśnie podjęta została produkcja korundów spiekanych: zwykłego, półszlachetnego i modyfikowanych. Okres ten otworzył nowe możliwości w zakresie celowego formowania kształtów ziaren ściernych, ich właściwości fizykochemicznych i potencjału skrawnego, a także obniżki kosztów wytwarzania. Możliwości te pogłębiły się szczególnie po roku 1986, gdy koncern 3M opracował technologię typu 'zol-żel" do wytwarzania submikrokrystalicznego korundu spiekanego nazwanego Cubitronem 3M. szybko okazało się, iż w technologii spiekania proszków produkować można nie tylko twarde, ale także supertwarde materiały ścierne. Aktualnie już kilkanaście wytwórni w świecie oferuje twarde i supertwarde, spiekane, polikrystaliczne materiały ścierne. Wydawać się może, że w XXI w. utrzymają i pogłębią się te kierunki rozwoju materiałów ściernych, które zapoczątkowane zostały w okresach trzecim i czwartym[58].

Obecnie do obróbki ściernej stosuje się przeważnie sztuczne materiały ścierne. Ich produkcja prowadzona jest na światową skalę, a ponadto duża liczba odmian materiałów ściernych umożliwia dobrze dopasować ich jakość do bardzo zróżnicowanych wymogów obróbki ściernej.

Postęp techniczny stawia przed wyrobami przemysłowymi coraz to wyższe wymagania zarówno w zakresie jakości, jak i wydajności oraz trwałości w eksploatacji. Wiąże się to ze wzrastającymi wymogami dotyczącymi jakości wymiarowej i stanu warstwy wierzchniej, a także ze stosowaniem nowych materiałów. Stosowanie w budowie maszyn nowych stopów o podwyższonych własnościach fizykochemicznych stwarza trudności w ich obróbce, a niektórych przypadkach nawet całkowicie ją uniemożliwia, jeżeli ograniczy się do klasycznych narzędzi ściernych z elektrokorundów czy węglika krzemu. Trudności w obróbce takich materiałów są z powodzeniem rozwiązywane dzięki stosowaniu narzędzi z materiałów

[58] C. Niżankowski, L. Przybylski, Materiały i narzędzia ścierne- trendy rozwoju w XXI wieku, XXV Naukowa Szkoła obróbki Ściernej, Wrocław – Duszniki Zdrój, 11-14 września 2002, s.18-19

supertwardych (takich jak opisany wcześniej diament syntetyczny czy regularny azotek boru) lub materiałów, które oparte są na ich polikrystalicznych kompozycjach. Stosowanie w obróbce ściernej nowych supertwardych materiałów umożliwia także bardziej dokładną i wydajną obróbkę innych materiałów obrabianych dotychczas ścierniwami tradycyjnymi. Jak wykazały doświadczenia krajów przodujących, można przy użyciu nowoczesnej obróbki ściernej uzyskiwać wysokie gładkości powierzchni bez stosowania innych operacji wykańczających. Dzięki wysokim zaletom produkowanych obecnie materiałów ściernych można niektóre operacje technologiczne, jak na przykład oczyszczanie odlewów i wlewków dłutowaniem ręcznym lub płomieniowo, zastąpić z powodzeniem oczyszczaniem ściernym przy użyciu narzędzi ściernych na bazie elektrokorundów cyrkonowych. Niektóre operacje obróbki skrawaniem można całkowicie wyeliminować, zastępując je obróbką ścierną, dzięki czemu znacznie upraszcza się proces technologiczny. Trwałość najnowszych materiałów ściernych jest duża, co ma szczególne znaczenie przy obróbce kształtowej[59].

Materiały ścierne są wykorzystywane zarówno przy wstępnym oczyszczaniu powierzchni jak i w fazie wykończenia mającej wpływ na ostateczny wygląd i wymiar obrabianego produktu. Historia wspomnianej już firmy 3M zaczęła się właśnie od materiałów ściernych i wydobycia korundu. Mimo upływu prawie 100 lat od wynalezienia pierwszego na świecie papieru ściernego, dzięki ciągłym badaniom i udoskonalaniu, w chwili obecnej stosując najnowszy wynalazek Firmy 3M materiał Trizact™ można szlifować elementy z dokładnością do 1/10 000 cala, co ma swoje praktyczne zastosowanie np. przy produkcji części do silników odrzutowych. Wśród materiałów ściernych znajduje się szeroka gama wyrobów do obróbki powierzchni takich jak: materiały nasypowe, włókniny ścierne oraz materiały mikrościerne[60]:

- Materiały nasypowe to podkład pokryty warstwą ścierniwa zespolonego za pomocą żywicy lub kleju. Jako ścierniwa używa się: granatu, tlenku glinu, węglika krzemu, dwutlenku cyrkonu, diamentu, Cubitronu, jako podkład wykorzystuje się: papier, płótno, folię poliestrową, fibrę. Materiały nasypowe dostępne w: arkuszach, rolkach, pasach, krążkach, szczotkach itp. Znajdują zastosowanie do obróbki drewna, metalu, tworzyw sztucznych, szkła, kamienia; zarówno przy obróbce ręcznej, jak i mechanicznej.

[59] K. Woźniak, Materiały ścierne. Wytwarzanie i własności, Wydawnictwa Naukowo – Techniczne, Warszawa 1982, s.11-12
[60] http://www.horus.net.pl/dzialy/ms.htm z dnia 15 maja 2008 r.

Rysunek 43 Narzędzie ścierne produkowane przez firmę 3M

Źródło: http://www.horus.net.pl/dzialy/ms.htm

- Włókniny ścierne Scotch-Brite™ składają się z trzech elementów: syntetycznej włókniny, żywicy, ziaren ścierniwa. Dzięki żywicy włóknina łączy się z ziarnem ścierniwa w taki sposób, że powstaje otwarta elastyczna struktura ścierna. Materiał ścierny rozłożony jest w sposób równomierny w całej objętości włókniny, co skutkuje zwiększeniem żywotności ścierniwa i gwarantuje stałe właściwości podczas użytkowania. Elastyczność włókniny pozwala na obróbkę konturów i miejsc trudno dostępnych, a otwarta struktura ułatwia wymianę ciepła, dzięki czemu znacznie redukuje się możliwość odkształcenia lub odbarwienia obrabianego przedmiotu. Innymi korzyściami wynikającymi z budowy strukturalnej jest minimalizowanie wydzielania hałasu. Dzięki różnym kombinacjom włókien, ścierniwa i żywicy Firma 3M opracowała szeroką gamę produktów, które praktycznie można stosować do obróbki wszystkich materiałów, kształtów i wymiarów. Znajdują one zastosowanie do czyszczenia powierzchni, usuwania tlenków, usuwania rdzy, czyszczenia spoin, wygładzania drewna i warstw podkładowych.

Rysunek 44 Narzędzie ścierne produkowane przez firmę 3M

Źródło: http://www.horus.net.pl/dzialy/ms.htm

- Materiały mikrościerne 3M oferują największą precyzję i odtwarzalne wyniki szlifowania. Materiałem nośnym jest folia odporna na tradycyjne środki smarujące i rozpuszczalniki oraz wodę. Środkiem wiążącym jest sztuczna żywica żaro- i wodoodporna. Ścierniwem mogą być zarówno tradycyjne materiały nasypowe jak i Trizact™ materiał powstały dzięki technologii mikroreplikacji.

Warto dodać, że wynalezienie przez firmę 3M papieru ściernego będącego pierwszym narzędziem ściernym nasypowym, dało inspirację do opracowania innych narzędzi ściernych nasypowych. Na przykład narzędzia ścierne nasypowe na podłożach elastycznych są narzędziami o konstrukcji i właściwościach dopuszczających znaczne sprężyste przemieszczenia ziarn ściernych w kierunku składowych sił skrawania. Podstawowym półproduktem do wytwarzania tych narzędzi są wyroby ścierne nasypowe w postaci rulonów. Ze względu na to, że w konwencjonalnych wyrobach najczęściej używanymi podłożami były papiery i płótna, stąd pochodzi ich tradycyjna nazwa- papiery i płótna ścierne. Współcześnie wyroby te z naniesioną warstwą ścierniwa przedstawiają sobą rozwinięcie konstrukcji, które zaczęto stosować w przemyśle już pod koniec XIX wieku. W ostatnich latach powstało wiele innowacji w zakresie produkcji tych wyrobów, a mianowicie:

- Zapewniono w przybliżeniu jednorodność kształtu ziarn ściernych,
- Opracowano metody orientowania ziarn na powierzchni podłoża,
- Wprowadzono nowe rodzaje ścierniw, podłoży i spoiw,
- Zastosowano różnego rodzaju nasypy ścierne[61].

[61] W. Pszczołowski, P. Rosienkiewicz, Obróbka ścierna narzędziami nasypowymi, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 1995, s.52

W ostatnich trzydziestu latach we wszystkich przemysłowo rozwiniętych krajach coraz większą uwagę poświęcano właśnie narzędziom ściernym nasypowym. Stosuje się je we wszystkich możliwych przypadkach, kiedy należy zwiększyć wydajność obróbki i polepszyć strukturę geometryczną powierzchni, a także wprowadzić mechanizację i automatyzację procesu. Metoda obróbki narzędziami ściernymi nasypowymi, a także wiele jej odmian, rozwijają się intensywnie i w wielu przypadkach okazały się konkurencyjnymi, zapewniającymi uzyskanie większych możliwości technologicznych niż metody szlifowania ściernicami, jak również niektóre metody obróbki skrawaniem. Najczęściej narzędzia ścierne nasypowe na podłożach elastycznych wykorzystywane były w obróbce ręcznej. Jednak w miarę rozwoju, znalazły one zastosowanie w polerowanie, a następnie w szlifowaniu. W ostatnich latach, dzięki wprowadzeniu nowych rozwiązań konstrukcyjnych i nowych materiałów do ich wytwarzania, znajdują one również zastosowanie praktycznie w większości sposobów obróbki ściernej, takich jak gładzenie, dogładzanie oscylacyjne czy docieranie[62].

Także w budowie ściernic, odnotowywany jest ciągły postęp. Obserwowany jest wzrost zastosowania w nich supertwardych materiałów ściernych. Dzięki opracowaniu nowych koncepcji szlifierek z automatyczną zmianą narzędzi realny staje się optymalny dobór ściernic dla każdego kroku procesu obróbki ściernej. Ściernice diamentowe ze spoiwem żywicznym umożliwiają dokładne pod względem wymiarowo-kształtowym szlifowanie złożonych, małogabarytowych przedmiotów. Ściernice diamentowe ze spoiwem ceramicznym okazały się najbardziej skuteczne do szlifowania polikrystalicznego diamentu (PKD) i polikrystalicznego CBN. Ściernice z CBN ze spoiwem ceramicznym, odznaczające się doskonałymi właściwościami skrawnymi i profilującymi, są przeważnie stosowane do produkcyjnego szlifowania stali hartowanej. Ściernice z CBN ze spoiwem galwanicznym są przeznaczone do produkcyjnego szlifowania wszystkich materiałów stalowych i żeliw z wysoką wydajnością ubytkową.

Ogólnie można stwierdzić, że spoiwo ceramiczne stało się w ostatnich latach najefektywniejszym rozwiązaniem innowacyjnym nie tylko w odniesieniu do ściernic z CBN, ale także do ściernic diamentowych. Stosowalność ściernic z CBN ze spoiwem ceramicznym będzie w przyszłości sukcesywnie wzrastać. Ich ważną zaletą jest obecnie to, że są profilowane i obciągalne na szlifierce. Przygotowanie ich do praktycznego wykorzystania jest związane z mniejszymi nakładami. Wiele prowadzonych w tym obszarze badawczym prac

[62] W. Pszczołowski, P. Rosienkiewicz, Obróbka ścierna narzędziami nasypowymi, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 1995, s.18-19

sprzyja doskonaleniu właściwości użytkowych tego rodzaju ściernic, w tym technologia HPB *(High Performance Bond)*[63].

Warto dodać, że państwa wysoko uprzemysłowione przeznaczają finansowo znaczące nakłady na rozwój nowoczesnych materiałów i narzędzi ściernych. Przykładowo, tylko koncern 3M na rozwój ścierniw i narzędzi ściernych z submikrokrystalicznego korundu spiekanego typu Cubitron przeznaczył dotychczas kwotę ponad 100 mln dolarów[64].

3.3. Innowacje w zakresie technologii w drugiej połowie XX wieku i na początku wieku XXI.

Zwiększające się wymagania dotyczące dokładności szlifowania, a zwłaszcza gładkości części maszyn, zmusiły konstruktorów do szukania innych metod obróbki ściernej umożliwiających otrzymywanie bardziej gładkich powierzchni. Opracowano sposoby uzyskania powierzchni o chropowatości Ra<0,1 μm, np. za pomocą osełkowania (dogładzanie, gładzenie superfinish, honowanie). Osełkowanie, podobnie jak polerowanie, jest obróbką gładkościową, ale najnowsze urządzenia do osełkowania pozwalają także na niewielkie zmniejszenie błędów kształtu pozostałych po obróbce poprzedzającej osełkowanie. Najwyższe gładkości uzyskuje się stosując mikroproszki ścierne do docierania płaszczyzn. Otrzymana w taki sposób powierzchnia ma chropowatość Ra< 0,02μm. Sposób ten stosuje się do ostatecznej obróbki narzędzi pomiarowych, płytek wzorcowych itp. Zakres stosowania gładkościowej obróbki ściernej jest dość rozległy, a jeśli do tego dołączy się jeszcze szlifowanie zgrubne znacznych naddatków obróbkowych, np. nadlewów, szwów spawalniczych itp., to wówczas dopiero można zauważyć, jakie są możliwości obróbki ściernej. Stosowane są także technologie przewidujące szlifowanie bezpośrednio po precyzyjnym odlewaniu lub kuciu z pominięciem obróbki wiórowej[65].

Dążenie do zwiększania produktywności, elastyczności, dokładności, a także jakości operacji szlifierskich, spowodowało pojawienie się wielu innowacyjnych procesów

[63] L. Dąbrowski, Obróbka ścierna w technikach wytwarzania, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2005, s.8
[64] C. Niżankowski, L. Przybylski, Materiały i narzędzia ścierne- trendy rozwoju w XXI wieku, XXV Naukowa Szkoła obróbki Ściernej, Wrocław – Duszniki Zdrój, 11-14 września 2002, s.17
[65] L. Kwapisz, J. Rafałowicz, Szlifierki, Wydawnictwa Naukowo- Techniczne, Warszawa 1992, s. 11

szlifowania. Ich praktycznemu wdrażaniu sprzyja rozwój szlifierek dostosowanych konstrukcyjnie do specyfiki poszczególnych procesów. Są to[66]:

- Szlifowanie z dużą prędkością obwodową ściernicy- HSG (*High Speed Grinding*),
- Szlifowanie z dużą prędkością przedmiotu- SSG (*Speed Stroke Grinding*),
- Szlifowanie z ciągłym sterowaniem torem ściernicy - CPCG (*Continuous Path Controlled Grinding*),
- Szlifowanie głębokie – DG (*Deep Grinding*),
- Szlifowanie wysoko wydajne – HEDG (*High Efficiency Deep Grinding*),
- Szlifowanie głębokie z ciągłym obciąganiem ściernicy – CDDG (*Continuous Dressing Deep Grinding*),
- Szlifowanie powierzchni płaskich z kinematyką docierania,
- Szlifowanie ze wspomaganiem ultradźwiękowym.

Intensywna pogoń techniki za wysoką jakością, trwałością i niezawodnością obiektów technicznych wymusza powstawanie nowoczesnych technologii. Jedną z nowych technik obróbki metali jest obróbka elektrochemiczno- ścierna AECM (*Abrasive Electrochemical Machining*),będąca sposobem obróbki metali, w którym występuje połączenie dwóch procesów: elektrochemicznego roztwarzania, czyli obróbki elektrochemicznej ECM (Obróbka elektrochemiczna to obróbka erozyjna polegająca na wykorzystaniu elektro- chemicznego roztwarzania, tj. agresywnego działania roztworów kwaśnych lub zasadowych (elektrolitów) na będące z nimi w kontakcie metale, oraz prądu elektrycznego, który poprzez wywoływanie odpowiedniego napięcia pomiędzy elektrodą roboczą (katodą) i przedmiotem obrabianym (anodą) przyczynia się do intensyfikacji procesu[67]) i skrawania nieokreśloną liczbą ziaren ściernych, czyli szlifowania mechanicznego MG. Jest to typowa obróbka hybrydowa, która łączy w sobie zastosowanie energii mechanicznej, elektrochemicznej i cieplnej. Hybrydowy charakter szlifowania elektrochemicznego jest związany z zachodzeniem wielu zjawisk fizykochemicznych mających wpływ na efektywność tej technologii. Dobór parametrów nastawnych i przebieg kontroli procesu jest kluczowym zagadnieniem. Wymaga to jednak dużej wiedzy technicznej

[66] L. Dąbrowski, Obróbka ścierna w technikach wytwarzania, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2005, s.9
[67] http://www.narzedziownie.pl/?t=s&s=1&i=368 z dnia 15 maja 2008 r.

od operatora szlifierek elektrochemicznych. Obróbka elektrochemiczno-ścierna rozwinęła się tak istotnie, że można wyróżnić wiele jej odmian. Są one następujące[68]:

- Szlifowanie elektrochemiczne,
- Ostrzenie elektrochemiczne,
- Gładzenie elektrochemiczne (honing),
- Wiercenie elektrochemiczno – ścierne,
- Ultradźwiękowa elektrochemiczno- ścierna (udarowa),
- Przecinanie elektrochemiczno- ścierne,
- Magnetyczna elektrochemiczno- ścierna,
- Elektrochemiczno- przetłoczno - ścierna,
- Polerowanie elektrochemiczno- ścierne.

Należy wspomnieć także o innej, stosunkowo nowej technice w obróbce ściernej, jaką jest hydrostrumieniowa obróbka powierzchni. Wysokociśnieniowa struga wodna służąca do różnego rodzaju obróbek powierzchniowych, stosowana jest w krajach o wysokim poziomie technicznym już przeszło 30 lat. Od ponad 20 lat natomiast zaczęto stosować wysokociśnieniową strugę wodno-ścierną, która dominuje obecnie w wielorakich zastosowaniach. Z historycznego punktu widzenia, światowe początki hydrostrumieniowej obróbki powierzchni polegały na heurystycznych pomysłach jej stosowania, bez tworzenia uogólnionych zasad. Niemniej jednak zaowocowało to skutecznymi metodami czyszczenia odlewów bądź wyprasek a także usuwania wszelkiego rodzaju trwałych osadów zewnętrznych, które z powodzeniem stosuje się do chwili obecnej. Istotnym przykładem zastosowania strugi wysokociśnieniowej może być także czyszczenie różnych przedmiotów o skomplikowanych kształtach, takich jak wirniki i kierownice turbin, czy też elementy pomp i wentylatorów. Innego rodzaju zastosowaniem wysokociśnieniowej strugi wodnej jest przemysł stoczniowy, w którym występuje czyszczenie rozległych powierzchni burt statków. Zupełnie innym przykładem technicznego wykorzystania „sprężystości" takiej strugi może być usuwanie skorodowanych warstw betonu eksponujące jego zbrojenie. Pozwala to na przeprowadzenie pełnosprawnej renowacji takiej konstrukcji żelbetonowej[69]. Wysokociśnieniowa struga wodna może także służyć do czyszczenia powierzchni malarskich,

[68] S. Zaborski, Obróbka elektrochemiczno- ścierna. Podstawy i zastosowania, oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2007, s.11-13
[69] P. Borkowski, Teoretyczne i doświadczalne postawy hydrostrumieniowej obróbki powierzchni, Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Koszalińskiej, Koszalin 2004, s. 13-17

skorodowanych wnętrz rurociągów, do regeneracji konstrukcji budowlanych typu jezdnie, mosty czy wysokie kominy, do czyszczenia pomników i fasad budynków, itp. a w szczególnych zastosowaniach nawet elementów elektroniki[70]. Jednak są to tylko nieliczne przykłady używania tej metody obróbki. W praktyce różnorodność jej zastosowań dotyczy niemal wszystkich gałęzi przemysłu.

Opracowane w początkowym okresie metody czyszczenia były na ogół pozbawione podstaw naukowych, ponieważ cały wysiłek w tym względzie kierowany był wówczas na trudniejsze do opanowania metody przecinania materiałów. Zbliżona sytuacja występuje również obecnie, kiedy to pod wpływem nowych technologii około 10 lat temu rozpoczął się ponowny rozwój metod obróbki powierzchniowej. Najbardziej zaawansowanym tego przykładem jest delikatna obróbka powierzchniowa strugą cząstek lodowych, w której pomimo kilki lat dość sukcesywnych badań, naukowe podstawy nie są w pełni opracowane.

Powierzchniowa obróbka wysokociśnieniową strugą wodną polega na oddziaływaniu strugi o dużej prędkości, którą skoncentrowano na ograniczonej powierzchni materiału obrabianego. W strefie erozji energia kinetyczna takiej strugi wodnej jest przekształcana w energię potencjalną lokalnej deformacji materiału, przejawiającej się najczęściej w postaci mechanicznej pracy usuwania jego zbędnej części. Jest to możliwe pod wpływem dużej gęstości mocy strugi wodnej skoncentrowanej w stosunkowo małej strefie obróbki. W celu ukształtowania takiej strugi wodnej stosuje się odpowiednie dysze wodne lub tryskacze, w których montuje się niekiedy specjalne wkładki, wywołując kawitację intensyfikującą proces erozji struga wodną[71]. Wysokociśnieniowa struga wodna służąca czyszczeniu powierzchni wytwarzana jest w pompie pod wysokim ciśnieniem, w zależności od potrzeb od kilkuset do kilku tysięcy barów. Taki strumień wody, nasycony cząstkami stałymi ziaren ściernych ma bardzo dużą energię, którą można wykorzystywać nie tylko do czyszczenia powierzchni, ale także do ich cięcia. Warto także dodać, że tradycyjne piaskowanie niesie za sobą ujemny, niepożądany efekt dużego zapylenia i potencjalnie związaną z tym możliwość uszkodzenia urządzeń, które znajdują się w pobliżu. Powstałe w takim procesie drobiny piasku kwarcowego w postaci pyłu mogą także okazać się niebezpieczne dla zdrowia - jego przewlekłe wdychanie może powodować tzw. pylicę krzemową. W przypadku wysokociśnieniowej strugi wodnej natomiast zapylenie takie nie występuje, ponieważ kryształy piasku lub innego materiału ściernego są osłonięte przez tzw. płaszcz wodny.

[70] http://www.teberia.pl/news.php?id=5772 z dnia 15 maja 2008 r.
[71] P. Borkowski, Teoretyczne i doświadczalne postawy hydrostrumieniowej obróbki powierzchni, Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Koszalińskiej, Koszalin 2004, s. 13-17

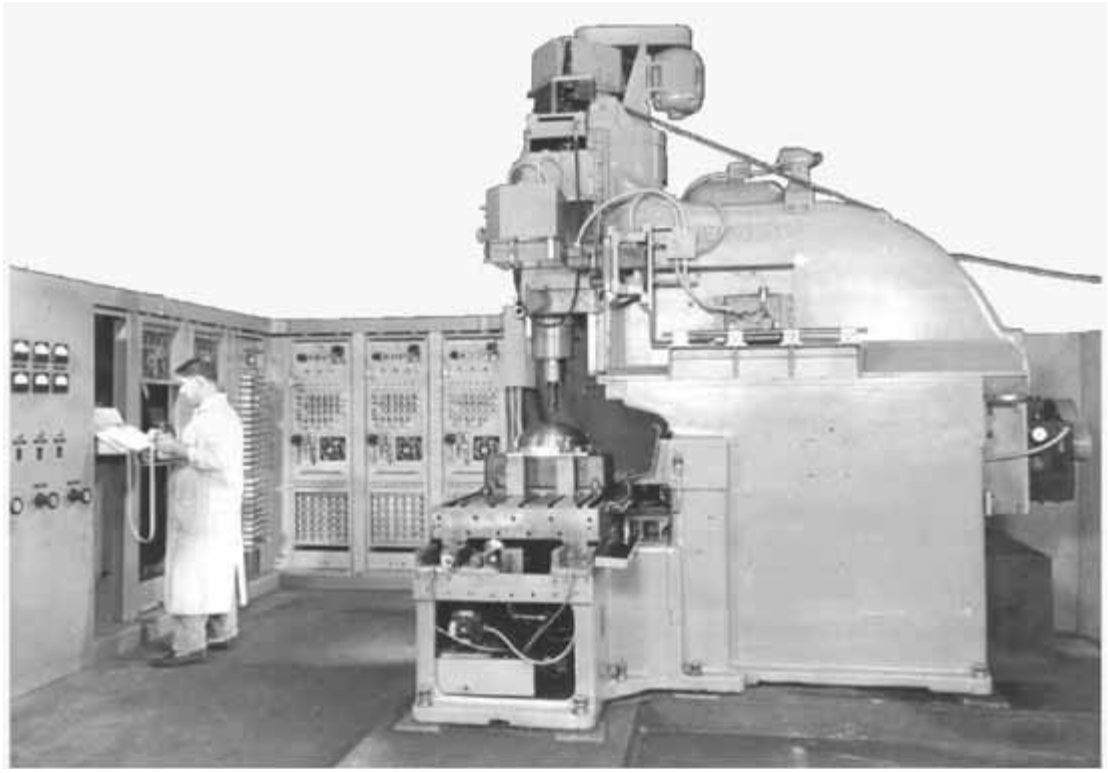
Niewątpliwą zaletą przemawiającą za tą metodą jest również wyraźne skrócenie czasu pracy. Oczyszczenie metra kwadratowego powierzchni, w zależności od jej stanu zanieczyszczenia oraz wyboru metody tradycyjnego piaskowania bądź mechanicznej, może trwać nawet do godziny, natomiast przy wykorzystaniu wysokociśnieniowej strugi wodnej ten sam efekt oczyszczenia można uzyskać nawet po kilku minut. Struga wodna pozwala także - poprzez umiejętne sterowanie procesem - na kontrolowanie „zdzierania" materiału. Głębokość odsłaniania powierzchni uzależniona jest od wielu czynników, m.in. od czasu, w jakim struga będzie kierowana na powierzchnię oraz ciśnienia medium wodno-ściernego. Podobnie jest z obszarem oddziaływania –ponieważ struga stanowi narzędzie elastyczne, może być z powodzeniem używana do obróbki powierzchni o skomplikowanych i rozwiniętych kształtach. Urządzenie wytwarzające wysokociśnieniową strugę wodną jest w pełni mobilne. Jego sercem jest wysokociśnieniowa pompa wodna wraz z silnikiem i stosownym osprzętem. Całość jest wielkości typowego kontenera, po umieszczeniu na podwoziu zapewnia więc możliwość dojazdu wszędzie tam, gdzie wystąpi konieczność pracy. Istota procesu polega na wytworzeniu w pompie strumienia o odpowiednim wysokim ciśnieniu, który następnie doprowadzany jest specjalnymi wężami do głowicy, gdzie następuje ostateczne uformowanie wynikowej strugi i skąd jest ona kierowana bezpośrednio na powierzchnię obrabianą. Dzięki takiej mobilności zastosowanych rozwiązań konstrukcyjnych sprzętu, można doprowadzić wysokociśnieniową strugę wodną jako narzędzie na odległość nawet kilkuset metrów od miejsca jej wytworzenia[72].

3.4. Innowacje w obszarze obrabiarek w drugiej połowie XX wieku i na początku wieku XXI – sterowanie numeryczne.

Zdecydowanie za przełomową kwestię w obszarze obrabiarek, nie tylko stosowanych w obróbce ściernej, ale w obszarze obrabiarek w ogóle, należy uznać opracowanie obrabiarek sterowanych numerycznie. „Historia obrabiarek ze sterowaniem numerycznym (NC, ang. *Numerical Control*) przekroczyła już 50 lat – pierwsza powstała w MIT w Bostonie w roku 1953[73].

[72] http://www.teberia.pl/news.php?id=5772 z dnia 15 maja 2008 r.
[73] http://wckp.lodz.pl/b_okup/12/04.pdf z dnia 15 maja 2008 r.

Rysunek 45 Pierwsza obrabiarka ze sterowaniem numerycznym NC



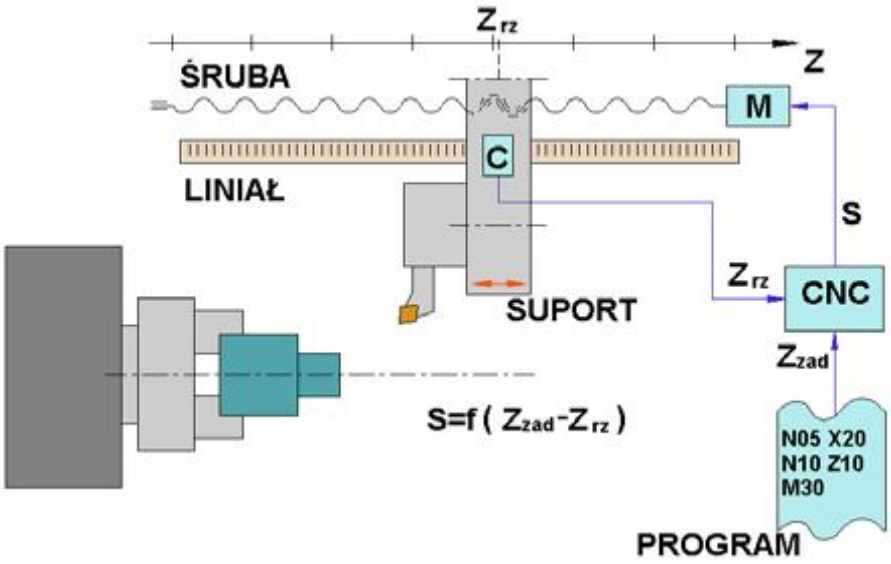
Źródło: http://wckp.lodz.pl/b_okup/12/04.pdf

Przez pół wieku znacznie zmieniły się cechy zewnętrzne obrabiarek NC, ich kinematyka i możliwości obróbkowe, jednak idea funkcjonowania pozostała bez zmian. Jedyną istotną zmianą było zastosowanie na początku lat 70-tych komputera jako jednostki wykonawczej (CNC, ang. *Computer Numerical Control*), co znacznie zwiększyło funkcjonalność układów sterowania i spowodowało ich upowszechnienie, nie tylko w sterowaniu obrabiarek. Dzisiaj coraz częściej używa się pojęcia NC w stosunku do układów CNC, choć konstrukcyjnie różnią się one od układów NC starszych generacji, coraz rzadziej pracujących w przemyśle.

Z punktu widzenia automatyki sterowanie CNC jest układem automatycznej regulacji programowej (stąd używane w języku polskim pojęcie „sterowanie" nie jest w pełni poprawne), pracującym w zamkniętej pętli sprzężenia zwrotnego. Wartość zadana położenia (*Zzad*) elementów ruchomych obrabiarki (np. suportu) w danej osi sterowanej numerycznie (Z) jest wyznaczana na podstawie programu. Następnie jest ona porównywana z wartością rzeczywistą położenia (*Zrz*), mierzoną przez przetwornik pomiarowy (C). Na podstawie różnicy pomiędzy wartością zadaną a rzeczywistą położenia w osi SN układ sterowania (CNC) generuje sygnał sterujący(S), kierowany do napędu osi (M), korygując tym samym jej położenie aż do

uzyskania zerowej różnicy pomiędzy wartością zadaną a rzeczywistą położenia osi (*Zrz Zzad*).

Rysunek 46 Schemat ideowy sterowania numerycznego NC



Źródło: http://wckp.lodz.pl/b_okup/12/04.pdf

Istotą funkcjonowania obrabiarek CNC jest zatem przyjęcie założenia o istnieniu pewnego układu współrzędnych, w którym odbywa się sterowanie. Jest to najprostszy sposób na określanie względnych położeń narzędzia i przedmiotu obrabianego, wymaganych dla przeprowadzenia obróbki i uzyskania odpowiednich jej rezultatów. Pojęcie numeryczny należy więc obecnie kojarzyć ze współrzędnymi (o wartościach liczbowych, numerycznych). Należy jednak pamiętać, że źródłem nazwy „numeryczny" była postać programu sterującego, opisana w postaci kodów numerycznych (np. ASCII, ISO, EIA). Na podstawie powyższych informacji można podać dwie najważniejsze cechy układów sterowania CNC: są to układy sterowania programowego – program opisuje zarówno parametry technologiczne obróbki (posuwy, prędkości skrawania, chłodzenie, itp.),jak i geometryczne (położenia zespołów ruchomych obrabiarki w trakcie obróbki); są to układy o elastycznej postaci programu sterującego – wymóg sterowania programowego jest warunkiem koniecznym, ale nie wystarczającym. Warunkiem tym jest taka postać programu sterującego, aby łatwo i szybko można było ją zmodyfikować (np. w celu usunięcia błędów lub zmiany wymiarów obrabianego przedmiotu). Warunek ten nie jest możliwy do spełnienia w takich układach sterowania programowego, jak np. sterowanie krzywkowe. Elastyczna postać programu sterującego predestynuje zatem obrabiarki CNC do produkcji o charakterze średnio i małoseryjnym (choć nie wyklucza wielkoseryjnej i

masowej), dominującej w dzisiejszym przemyśle. Elastyczność obrabiarek CNC to główna przyczyna ich szerokiego stosowania. Przez program sterujący w układach CNC rozumie się zatem plan zamierzonej pracy obrabiarki, mającej na celu wykonanie przedmiotu o żądanych kształtach, wymiarach i chropowatości powierzchni. Składa się z następujących informacji, zapisanych w postaci alfanumerycznej:

- geometrycznych, dotyczących kształtów i wymiarów, obejmujących opis toru ruchu narzędzi,
- technologicznych, dotyczących warunków obróbki: narzędzia, prędkość skrawania i posuw, pomocnicze".

Ze względu na to, że postęp w ciągłym unowocześnianiu obrabiarek w obróbce ściernej jest ogromny, nie sposób opisać jego poszczególnych etapów. Dlatego w pracy, po krótkim objaśnieniu ogólnej zasady, na jakiej opiera się sterowanie numeryczne obrabiarek, omówiony zostanie po krótce postęp w budowie szlifierek, który nastąpił w przeciągu ostatnich kilku lat.

Przez długi okres prędkość szlifowania oscylowała wokół 30 m/s. Dopiero wprowadzenie wysokowytrzymałych spoiw żywicznych i metalowych pozwoliło na zwiększenie prędkości szlifowania do 60 m/s, a niekiedy nawet do 90 m/s. To ponad dwukrotne zwiększenie prędkości szlifowania podniosło wydajność i gładkości obróbki, a także spowodowało powstanie nowych kierunków w budowie szlifierek. Jeżeli zwiększenie prędkości do 60 m/s można uznać za niewielkie zmiany w napędzie i łożyskowaniu wrzeciona szlifierek, to dalsze zwiększenie prędkości szlifowania wymaga już znacznych zmian w całej konstrukcji szlifierki. Szybkościowe szlifowanie rozpowszechniło się najbardziej w procesie szlifowania wałków. Produkowane są już szlifierki wcinarki do wałków o zupełnie odmiennej budowie niż konwencjonalne szlifierki kłowe. Są to obrabiarki o zwartej konstrukcji, całkowicie obudowane, zabezpieczające obsługę przez rozbryzgiem chłodziwa i ewentualnymi skutkami rozerwania się ściernicy. Nowoczesne szlifierki pracują w cyklu półautomatycznym lub automatycznym lub automatycznym sterowanym numerycznie[74].

Wymagania dotyczące budowy form i matryc, jak i produkcji seryjnej nieprzerwanie rosną, co powoduje domaganie się od wytwórców obrabiarek, w tym także szlifierek, nowych koncepcji z dotychczas nie realizowanymi możliwościami i wyższymi osiągalnymi dokładnościami obróbki. Innowacje wprowadzone przez

[74] L. Kwapisz, J. Rafałowicz, Szlifierki, Wydawnictwa Naukowo- Techniczne, Warszawa 1992, s. 10

producentów szlifierek pozwoliły na zwiększenie ich sztywności i stabilności termicznej. Poza tym producenci wyposażyli je na przykład w prowadnice hydrostatyczne i bezwzględne systemy pomiarowe. Wytwarzane szlifierki w systemie modułowym uwzględniają różnorodne warianty głowic szlifierskich i są kompletowane z innowacyjnymi układami sterowania oraz sterowanymi nimi nowymi rozwiązaniami napędów ruchów posuwowych i obrotowych. Koncepcje głowic szlifierskich najnowszej generacji umożliwiają obróbkę przedmiotów na gotowo w jednym zamocowaniu. Dwie dodatkowe funkcje oferowane przez aktualne układy sterowania szlifierek stanowią: możliwość użycia kilku obciągaczy zależnie od ściernicy i wykorzystania- odpowiednio do konkretnego wymagania w odniesieniu do dokładności- wymiarowych cyfrowych układów sterujących oraz wytwarzanie nieokrągłych kształtów dzięki zewnętrznemu lub zintegrowanemu programowaniu[75].

4. Przykłady najnowszych tendencji rozwojowych w obrębie narzędzi, obrabiarek oraz technologii.

4.1. Kierunki rozwoju materiałów i narzędzi ściernych

Uważa się[76], że obserwowane będą następujące trendy rozwoju supertwardych i spiekanych materiałów ściernych:

- Wytwarzanie monokrystalicznych ziaren ściernych diamentu syntetycznego w nowych postaciach krystalograficznych, specjalnie zorientowanych na zastosowanie w obróbce szkła, drewna, gumy, tworzyw sztucznych, kompozytów, betonu, marmuru, itp.,
- Wytwarzanie polikrystalicznych ziaren ściernych diamentu syntetycznego lub regularnego azotku boru bądź metodą spiekania mikroproszków materiałów supertwardych bądź też metodą ukierunkowanego osadzania i rozrostu zarodków z fazy gazowej w celu uzyskania ziaren ściernych o zdolnościach samoostrzenia i podatnych na przestrzenne orientowanie w objętości ściernicy,
- Wytwarzanie spiekanych, submikrokrystalicznych ścierniw twardych w formie „ pręcików” o zróżnicowanych proporcjach długości do maksymalnego wymiaru

[75] L. Dąbrowski, Obróbka ścierna w technikach wytwarzania, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2005, s.8
[76] C. Niżankowski, L. Przybylski, Materiały i narzędzia ścierne- trendy rozwoju w XXI wieku, XXV Naukowa Szkoła obróbki Ściernej, Wrocław – Duszniki Zdrój, 11-14 września 2002, s.19-20

poprzecznego(na przykład ziarna Tg i TGX firmy NORTON o proporcjach odpowiednio 4:1 i 8:1) oraz ścierniw hybrydowych, stanowiących mieszaninę klasycznych i spiekanych w formie pręcików ziaren ściernych (przykładowo ziarna TPG firmy NORTON jako mieszaniny TG i elektrokorundu chromowego).

Ciągłe dążenie do wydajnej, o wysokiej jakości oraz ekonomicznie uzasadnionej obróbki ściernej razem z ustawicznym rozwojem nowoczesnych materiałów konstrukcyjnych wywołują potrzebę ciągłego doskonalenia kształtu i geometrii krawędzi skrawających ziaren ściernych, ciągliwości i twardości tych ziaren, ich odporności chemicznej oraz termicznej, wytrzymałości doraźnej i zmęczeniowej, budowy mikrostrukturalnej, przewodności cieplnej i innych istotnych dla ścierniw właściwości. Stan ten pozwala przewidywać w najbliższych kilku latach zapoczątkowanie nowego, piątego okresu rozwoju materiałów ściernych, określonego jako „okres ścierniw high-tech". W tym okresie będą stosowane[77]:

- Nowe supertwarde materiały ścierne (np. trzykrotnie twardszy od diamentu metaliczny wodór),
- Nowe odmiany alotropowe znanych dotychczas materiałów ściernych (np. fullereny),
- Spiekane, nanokrystaliczne, twarde i supertwarde materiały ścierne,
- Spiekane, submikrokrystaliczne twarde materiały ścierne strukturalnie wzmocnione wiskerami,
- Ziarna ścierne z wiskerów Al_2O_3,
- Nowe, bardzo twarde ziarna ścierne z węglikoborków metali przejściowych,
- Nowe, twarde ścierniwa beztlenowe,
- Nowe, chemicznie związane z powierzchnią ziaren ściernych, powłoki wielowarstwowe,
- Spiekane z płytek lub dendrytów, submikrokrystaliczne, twarde i supertwarde materiały ścierne.

Jeśli chodzi o konkretnych producentów, to należy spodziewać się (prognozy z 2003 roku)[78]:

[77] C. Niżankowski, L. Przybylski, Materiały i narzędzia ścierne- trendy rozwoju w XXI wieku, XXV Naukowa Szkoła obróbki Ściernej, Wrocław – Duszniki Zdrój, 11-14 września 2002, s.21
[78] A. Koziarski, B. Kruszyński, L. Kwapisz, W. Fiks, A. Gołąbczak, M. Urbaniak, Kierunki rozwoju obróbki ściernej, Obróbka ścierna. Tendencje rozwoju, XXVI Naukowa Szkoła Obróbki Ściernej, Łódź wrzesień 2003, s.21

- Polikrystalicznego diamentu syntetycznego CDA-L firmy Uniround Ltd.,
- BORAZONU CBN 1200 firmy GE Superabrasives USA,
- Cubitronu 321 koncernu 3M,
- Powłoki Duplex.

Obserwując tendencje rozwojowe narzędzi ściernych można wyznaczyć następujące kierunki w budowie tych narzędzi[79]:

- Konstruowanie ściernic dla tzw. „zimnego" i wysokowydajnego szlifowania,
- Udoskonalenia ściernic warstwowych w celu skrócenia czasu cyklu szlifowania oraz zmniejszenia sił i mocy szlifowania oraz chropowatości powierzchni obrabianej,
- Konstruowanie ściernic z supertwardych, wydłużonych, orientowanych w objętości ściernicy, ziaren ściernych,
- Budowanie ściernic o wydłużonej trwałości CPS,
- Konstruowanie ściernic „inteligentnych" kodowanych elektronicznie, zdolnych do sterowania procesem szlifowania w zależności od stanu CPS.

4.2. Tendencje rozwojowe technologii obróbki ściernej

Tendencje rozwojowe z punktu widzenia technologii można podzielić na dwa obszary. Pierwszy z nich to kierunek rozwoju przygotowania ściernic do pracy, a drugi to rozwój procesów obróbki ściernej. A zatem w przygotowaniu ściernic do pracy najintensywniej rozwijają się metody[80]:

- Obciągania diamentowymi obciągaczami wirującymi,
- Erozyjnego obciągania,
- Obciągania elektrochemicznego ECD, którego szczególna odmianą jest system ELID (*Electronic in Process Dressing*),
- Elektroerozyjnego obciągania EDD,
- Hybrydowych sposobów obciągania ECDD, łączące procesy elektrochemiczne i elektroerozyjne, do metod tych należy m.in.

[79] A. Koziarski, B. Kruszyński, L. Kwapisz, W. Fiks, A. Gołąbczak, M. Urbaniak, Kierunki rozwoju obróbki ściernej, Obróbka ścierna. Tendencje rozwoju, XXVI Naukowa Szkoła Obróbki Ściernej, Łódź wrzesień 2003, s.23

[80] A. Koziarski, B. Kruszyński, L. Kwapisz, W. Fiks, A. Gołąbczak, M. Urbaniak, Kierunki rozwoju obróbki ściernej, Obróbka ścierna. Tendencje rozwoju, XXVI Naukowa Szkoła Obróbki Ściernej, Łódź wrzesień 2003, s.10-16

elektroerozyjne ostrzenie ściernic supertwardych elektrodą szczotkową EDMD.

Rozwijane innowacyjne sposoby obróbki ściernej to przede wszystkim[81]:

- Szlifowanie wysoko wydajne HEGD(*High Efficiency Deep Grinding*),
- Szlifowanie obwodowe wgłębne ukośne,
- Szlifowanie z ciągłym sterowaniem torem ściernicy - CPCG (*Continuous Path Controlled Grinding*),
- Szlifowanie ze zredukowanym stykiem ściernicy (*Quickpoint*),
- Szlifowanie wzdłużne otworów,
- Szlifowanie bezkłowe wgłębne (*centerless plunge grinding*),
- Szlifowanie kompletne (*complete machining*),
- Utwardzanie szlifowaniem,
- Frezoszlifowanie,
- Szlifowanie z kinematyką docierania,
- Hybrydowe procesy obróbki ściernej takie jak: szlifowanie wspomagane drganiami ultradźwiękowymi, szlifowanie elektrochemiczne ECG, elektroerozyjne EDG,
- Mikroszlifowanie (*Microgrinding*),
- Szlifowanie narzędziami nasypowymi,
- Dogładzanie foliami ściernymi,
- Gładzenie (*Honing*) i dogładzanie (*Superfinish*),
- Polerowanie (*Abrasive polishing*)
- Docieranie (*Lapping*)
- Obróbka strumieniem wody i ścierniwa (*Abrasive Water Jet Machining*).

4.3. Kierunki rozwoju obrabiarek

W ostatnich latach można zauważyć zwiększoną tendencję stosowania sterowania numerycznego, które praktycznie występuje we wszystkich rodzajach szlifierek. Dominującym od kilku lat kierunkiem w rozwoju układów sterowania maszyn

[81] A. Koziarski, B. Kruszyński, L. Kwapisz, W. Fiks, A. Gołąbczak, M. Urbaniak, Kierunki rozwoju obróbki ściernej, Obróbka ścierna. Tendencje rozwoju, XXVI Naukowa Szkoła Obróbki Ściernej, Łódź wrzesień 2003, s.10-16

technologicznych jest dążenie do wdrożenia systemów opartych w swoim działaniu na wykorzystaniu baz wiedzy o sterowanym procesie. Systemu takie integrują zastosowanie odpowiednich układów pomiarowych, układów przetwarzania informacji oraz układów sterowania. Istotą działania tych systemów jest imitowanie postępowania człowieka sprawującego tradycyjnie nadzór nad przebiegiem procesu. Z tego właśnie powodu określane są one mianem inteligentnych systemów obróbkowych. Wdrożenie takich systemów do sterowania procesu szlifowania wydaje się być szczególnie uzasadnione. Mimo istotnego postępu w zakresie technologii szlifowania osiągniętego w ciągu kilku ostatnich lat, w szczególności w zakresie napędów i sterowania szlifierek oraz w zakresie budowy ściernic, parametry jakości przedmiotu po szlifowaniu ciągle w dużym stopniu zależą od doświadczenia i umiejętności szlifierza. Ze względu na to, idea inteligentnego systemu szlifowania, w którym rola szlifierza mogłaby być zredukowana do minimum, wydaje się być skutecznym rozwiązaniem problem efektywnego automatycznego nadzorowania procesu szlifowania. Taki system powinien umożliwiać:

- Integrację danych pochodzących ze wszystkich możliwych źródeł, czyli danych pochodzących z układów pomiarowych, sterowania adaptacyjnego i CNC oraz z bazy wiedzy o systemie,
- Wiarygodną detekcję zakłóceń przebiegu procesu szlifowania, a w szczególności diagnostykę zużycia ściernicy i zmiany w rzeczywistej grubości warstwy skrawanej,
- Optymalizacje cyklu szlifowania ze względu na parametry jakości przedmiotu lub czas szlifowania,
- Inicjowanie odpowiedniego działania sterującego w odpowiedzi na wykryte zakłócenia przebiegu procesu,
- Samoczynne uczenie i dostrajanie się systemu odpowiednio do stanu wiedzy o procesie uzyskanej w czasie działania systemu.

Systemy inteligentne mają strukturę hierarchiczną. Pierwszy poziom systemu to układ monitorowania procesu oraz moduł serwonapędów. Poziom ten odpowiedzialny jest za monitorowanie wybranych wielkości fizycznych charakteryzujących przebieg procesu szlifowania oraz za bezpośrednie sterowanie napędami. Poziom drugi systemu realizuje zadania diagnostyki i sterowania adaptacyjnego procesem. Podstawowym zadaniem tego poziomu jest rozpoznanie zdolności skrawnej ściernicy oraz modyfikacja parametrów algorytmu sterowania.

Sterowanie parametrami szlifowania w kolejnych fazach cyklu szlifowania odbywa się przy współpracy z układami wyższego poziomu. Trzeci poziom systemu realizuje procedury globalnej optymalizacji operacji szlifowania. We współpracy z bazą wiedzy o procesie, formułowane są zalecenia do doboru charakterystyki ściernicy, początkowych parametrów szlifowania oraz parametrów obciągania ściernicy. Taka struktura inteligentnego systemu szlifowania pozwala na niezależną budowę poszczególnych modułów systemu i sekwencyjne ich wdrażanie.

Zastosowanie inteligentnych systemów szlifowania stawia również pewne wymagania w zakresie konstrukcji szlifierek. Głównie sprowadzają się one do stosowania wysokiej jakości serwonapędów i układów pomiaru położenia we wszystkich osiach sterowanych. Jednocześnie, systemy inteligentne sprzyjają wdrażaniu rekonfigurowanych systemów wytwarzania.

W miesięczniku naukowo- technicznym z lutego 2008r. można znaleźć relację z 17. Światowych Targów Obrabiarek i Obróbki Materiałów – EMO 2007, które odbyły się w Hanowerze między 17 a 22 września 2007r.[82]. Na tych targach narzędzia i obrabiarki ścierne stanowiły jedną z najszerzej eksponowanych technik wytwarzania, skupiając łącznie ponad 210 wytwórców. Tak liczny udział producentów środków do realizacji obróbki ściernej świadczy dobitnie o dobrej koniunkturze dla tego rodzaju kształtowania ubytkowego, zapewniającego wytwarzanym przedmiotom ostateczna dokładność wymiarowo- kształtową i jakość powierzchni.

Poniżej przedstawione zostaną niektóre z produktów prezentowanych na targach.

Firma Studer Schaudt GmbH (Stuttgart) zbudowała nową szlifierkę do wałków rozrządu CamGrind S ze zintegrowanym systemem ładunkowym. Jest to bardzo zwarta, przystosowana do wielu zastosowań, szlifierka do wałków rozrządu o długości do 650mm, która może być wykorzystywana jako stanowisko wytwórcze wewnątrz linii produkcyjnej.

[82]K. Oczoś, W. Habrat, Forum narządzi i obrabiarek ściernych- przykłady nowych rozwiązań, Mechanik, luty 2008

Rysunek 47 Szlifierka do wałków rozrządu CamGrind S firmy Studer Schaudt.

Źródło:http://www.schleifring.net/redwork/do.php?layoutid=512&node=2141816015&language=2

Nowa szlifierka bezkłowa Kronos Speed firmy Studer Mikrosa GmbH (Leibzig) jest przeznaczona do szlifowania wgłębnego małych przedmiotów o maksymalnej średnicy 8mm i długości 80mm. Odznacza się krótszym czasem wymiany przedmiotów (przykładowo iglice dysz są wymieniane w 0,9s). konstrukcja szlifierki Kronos Speed bazuje na typoszeregu Kronos S i została wyposażona w zintegrowany szybki podajnik przedmiotów- HSCL (*High Speed Centerless Leader*).

Rysunek 48 Szlifierka bezkłowa Kronos Speed firmy Studer

Źródło:http://www.schleifring.net/redwork/do.php?layoutid=512&node=2141816015&language=2

Firma Vaumard Machnes Co. S.A. (Hauterive) zaprezentowała uniwersalną szlifierkę do powierzchni walcowych 300CNC, przeznaczoną do elastycznego wytwarzania części w warunkach produkcji jednostkowej i małoseryjnej. Obrabiarka ta, ze względu na budowę modułową, może być dostosowana do różnych, specyficznych wymagań użytkownika. Dysponuje ona nawet 8CNC- osiami i 4 wrzecionami we wrzecienniku, co umożliwia elastyczną, a przy tym ekonomiczną obróbkę kompletną ciężkich, skomplikowanych przedmiotów w jednym zamocowaniu.

Rysunek 49 Uniwersalna szlifierka do powierzchni walcowych 300CNC firmy Vaumard

Źródło:http://www.voumard.ch/300cnc-e.htm

Firma Ewag AG (Etziken) opracowała nową 5-osiową szlifierkę narzędziową Compact Line przeznaczoną do szlifowania wkładek ostrzowych z węglików spiekanych, cermetów i PKD/CBN.

Rysunek 50 5-osiowa szlifierka narzędziowa Compact Line firmy Ewag

Źródło:http://www.ewag.com/redwork/do.php?layoutid=507&node=2141668683&language=2

Na centrum szlifiersko-erozyjnym Helitronic Power Diamond firmy Walter Maschinenbau GmbH (Tubingen), realizującym zgodnie z koncepcją „dwa w jednym" proces obróbki elektroerozyjnej narzędzi z PKD i proces konwencjonalnego szlifowania na jednej maszynie, zastosowano nowy sposób erodowania elektrodą obrotową w celu otrzymywania wysokiej jakości powierzchni oraz nowy zmieniacz elektrod i ściernic dla zapewnienia możliwie największej elastyczności.

Rysunek 51 Centrum szlifiersko-erozyjnym Helitronic Power Diamond firmy Walter Maschinenbau

Źródło:http://www.zerspanungstechnik.de/modules.php?op=modload&name=News&file=article&sid=1064&mode=thread&order=0&thold=0

Firma Erwin Junker Maschinenfabrik GmbH (Nordrach) zbudowała między innymi nowe szlifierki narzędziowe przeznaczone do realizowanej w różnej skali produkcji gwintowników, wierteł krętych czy rozwiertaków, jak też wkładek ostrzowych. Należy do niech szlifierka narzędziowa Quickpoint 3000 Blank przeznaczona do przeprowadzania całkowicie nowego procesu szlifowania. Celem jej stworzenia była obróbka w jednym zamocowaniu półfabrykatu w postaci pręta z zahartowanej stali szybkotnącej HSS lub pręta pełnowęglikowego z takimi operacjami jak: oszlifowanie wierzchołka narzędzia, obróbka konturu części skrawającej, szlifowanie na gotowo części chwytowej, szlifowanie czopu kwadratowego i oddzielenie gotowego narzędzia.

Rysunek 52 Szlifierka narzędziowa Quickpoint 3000 Blank firmy Erwin Junker Maschinenfabrik

QUICKPOINT 3000 Blank für HM-Rohstangen
mit JUNKER Handlingszelle

Źródło:http://www.junker-machinery.com/fra/data/8.31626_D_0906_QUICKPOINT_Blank.pdf

Firma Erwin Junker zaprezentowała także nową szlifierkę Platemat do szlifowania wkładek ostrzowych, zapewniając o 50% wyższą produktywność przy jednoczesnym podwyższeniu jakości.

Rysunek 53Szlifierka narzędziowa Platemat firmy Erwin Junker

Źródło:http://www.junker.de/eng/data/8.31629_E_0906_PLATEMAT.pdf

Firma Walter AG (Tubingen) opracowała nową szlifierkę Helitronic Micro do obróbki mikronarzędzi. Maszyna zbudowana na korpusie z odlewu mineralnego i wyposażona w napędy bezpośrednie we wszystkich sześciu CNC- sterowanych osiach, zapewnia uzyskiwanie precyzyjnych wyników szlifowania w zakresie średnic 0,1- 12,7mm.

Rysunek 54 Szlifierka Helitronic Micro do obróbki mikronarzędzi firmy Walter AG

Źródło:http://www.mikrosa.com/redwork/do.php?layoutid=503&node=2141799508&language=2

Firma Peter Wolters AG (Rendsburg) z kolei wystąpiła na EMO z innowacyjnymi rozwiązaniami produkowanych urządzeń do obróbki ściernej. Rozbudowując między innymi dwutarczową szlifierkę AC 1000-F do dwustronnego szlifowania powierzchni płaskich z kinematyką docierania, połączono ją z nową modułową za- i wyładowarką typu Twin-Leader.

Rysunek 55 Dwutarczowa szlifierka AC 1000-F firmy Peter Wolters AG

Źródło:http://pdf.directindustry.com/pdf/peter-wolters/automation-loading-systems-24664-3551.html

Zakończenie

Jak zostało wykazane w pracy początki obróbki ściernej sięgają prehistorii. Od tamtego okresu ta metoda wytwarzania nieustannie się rozwijała i rozwija nadal. Wraz z nadejściem XIX wieku rozpoczął się wyjątkowo dynamiczny rozwój obróbki ściernej, wynaleziono nowe materiały ścierne, zastosowano innowacyjne zmiany w budowie narzędzi ściernych i w konstrukcji obrabiarek. Z biegiem czasu pogłębiała się potrzeba osiągania coraz to bardziej dokładnych powierzchni elementów, pod względem tak wymiarowo-kształtowym jak i chropowatości. Spowodowało to powstanie niezliczonej liczby innowacji, które umożliwiły rozwój obróbki ściernej w zakresie materiałów ściernych, narzędzi oraz technologii i obrabiarek.

Współcześnie, w odniesieniu do narzędzi ściernych można zauważyć wzrastającą tendencję do zapewnienia możliwości ich stosowania w warunkach wyższej wydajności ubytkowej, a jednocześnie wyższych dokładności, któremu musi być wyprzedzająco zaproponowana odpowiednio oferta narzędzi dostosowanych do realizowanych procesów. Podobnie ważną alternatywą są narzędzia zespolone, umożliwiające zarówno szlifowanie zgrubne, które służą usuwaniu dużych ubytków materiału, jak też szlifowanie wykończeniowe do wytwarzania najwyższej jakości powierzchni. Przykładem takiego podejścia są ściernice do szlifowania jednoprzejściowego w różnych konfiguracjach procesów. Natomiast kształtowanie nowych materiałów kompozytowych, jak na przykład ceramik, wzmacnianych włóknami, w stosunku do których obróbka narzędziami z geometrycznie nieokreślonymi ostrzami, czyli ściernicami, technologicznie współzawodniczy z obróbką narzędziami z geometrycznie określonymi ostrzami, czyli skrawającymi, nadal potrzebuje innowacyjnych koncepcji narzędziowych.

W obszarze maszyn do obróbki ściernej obserwuje się skupienie uwagi ich producentów na optymalizacji właściwej obróbki, a tym samym na skracaniu czasów głównych. Jednak przy takim nastawieniu trudno oczekiwać znaczących kroków rozwojowych bez zaistnienia wymiernych postępów u wytwórców komponentów obrabiarek. W celu zniwelowania tej współzależności, a jednocześnie uzyskania efektywniejszych rezultatów wytwórczych, punkt ciężkości zainteresowań producentów obrabiarek zaczął się przesuwać na przedsięwzięcia służące celowemu minimalizowaniu czasów pomocniczych. W ich następstwie pojawiło się wiele innowacyjnych rozwiązań, które nie tylko zwiększyły produktywność maszyn, ale także wpłynęły na podwyższenie dokładności powtarzania cykli obróbkowych. Przykładowo zaliczyć do niech należy integrację zmieniaczy ściernic,

stosowanie jednostek mocujących typu *pick-up* w przestrzeni roboczej, wykorzystywanie strumienia cieczy chłodzącej do redukcji czasów wymiany przedmiotów[83].

Można zauważyć, że metody obróbki ściernej znajdują się wciąż na etapie intensywnego rozwoju. Naciski na rozwiązania innowacyjne mają swoje źródło w globalnym dążeniu do zwiększenia produktywności, dokładności i ekonomiczności procesów wytwarzania. Nowe materiały ścierne, konstrukcje narzędzi ściernych, konstrukcje obrabiarek i ich elementów składowych, jak też nowe systemy napędowe i inteligentne układy sterowania, stwarzają możliwość realizacji wysoko wydajnych i precyzyjnych procesów obróbki ściernej. Ponadto zasada zastępowania elementów usprzętowania specjalnym oprogramowaniem zwiększa elastyczność i rozszerza potencjalne możliwości zastosowań obrabiarek[84].

[83] K. Oczoś, W. Habrat, Forum narządzi i obrabiarek ściernych- przykłady nowych rozwiązań, Mechanik, luty 2008

[84]K. Oczoś, Charakterystyka trendów rozwojowych szlifowania ściernicowego, XXIII Naukowa Szkoła Obróbki Ściernej, Rzeszów- Myczkowice, Wrzesień 2000,s.59

Literatura

1. H. Żebrowski, Techniki wytwarzania. Obróbka wiórowa, ścierna, erozyjna, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2004
2. P. Cichosz, Techniki wytwarzania. Obróbka ubytkowa. Laboratorium, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2002
3. W. Pszczołowski, P. Rosienkiewicz, Obróbka ścierna narzędziami nasypowymi, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 1995
4. T. Dobrzański, Rysunek techniczny maszynowy, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 2002
5. K. Oczoś, J. Porzycki, Szlifowanie. Podstawy i technika, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 1986
6. L. Kwapisz, J. Rafałowicz, Szlifierki, Wydawnictwa Naukowo- Techniczne, Warszawa 1992
7. K. Woźniak, Materiały ścierne. Wytwarzanie i własności, Wydawnictwa Naukowo – Techniczne, Warszawa 1982
8. S. Lilley, Ludzie, maszyny i historia. Zarys historii rozwoju maszyn i narzędzi na tle przemian społecznych, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa 1958
9. Liebfeld, Ojcowie postępu technicznego, Wiedza Powszechna, Warszawa 1970
10. M. Koryciński, Szlifowanie i szlifierki bezkłowe, Wydawnictwa Naukowo- Techniczne, Warszawa 1971
11. L. Jaworska, Diament, otrzymywanie i zastosowanie w obróbkach skrawaniem, Wydawnictwa Naukowo- Techniczne, Warszawa 2007
12. L. Dąbrowski, Obróbka ścierna w technikach wytwarzania, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2005
13. S. Zaborski, Obróbka elektrochemiczno- ścierna. Podstawy i zastosowania, oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2007
14. P. Borkowski, Teoretyczne i doświadczalne postawy hydrostrumieniowej obróbki powierzchni, Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Koszalińskiej, Koszalin 2004
15. K. Oczoś, Charakterystyka trendów rozwojowych szlifowania ściernicowego, XXIII Naukowa Szkoła Obróbki Ściernej, Rzeszów- Myczkowice, Wrzesień 2000

16. C. Niżankowski, L. Przybylski, Materiały i narzędzia ścierne- trendy rozwoju w XXI wieku, XXV Naukowa Szkoła obróbki Ściernej, Wrocław – Duszniki Zdrój, 11-14 września 2002
17. Koziarski, B. Kruszyński, L. Kwapisz, W. Fiks, A. Gołąbczak, M. Urbaniak, Kierunki rozwoju obróbki ściernej, Obróbka ścierna. Tendencje rozwoju, XXVI Naukowa Szkoła Obróbki Ściernej, Łódź wrzesień 2003
18. K. Oczoś, W. Habrat, Forum narządzi i obrabiarek ściernych- przykłady nowych rozwiązań, Mechanik, luty 2008
19. http://www.univar.pl/materialy_scierne_wszystkie.php
20. http://www.poler.pl/index.php?id=oferta
21. http://www.korsil.pl/index.php?c=2&a=6&id=16
22. http://www.andre.com.pl/Produkty/Ose%C5%82ki%C5%9Bcierne/tabid/114/language/pl-PL/Default.aspx
23. http://pl.wikipedia.org/wiki/Obrabiarka
24. http://www. maszyneria.pl/szlifierka,narzedziowa,nua,25,1763.html
25. http://www.maszyneria.pl/szlifierka,ond,350,1799.html
26. http://www.sunnen.pl/index.php?option=com_content&task=view&id=110&Itemid=94
27. http://www.coius.pl/dogladzarka.html
28. http://www.hsw-zzn.com.pl/ciekawemain.htm
29. http://www.marbad.pl/index.php?option=com_content&task=view&id=142&Itemid=72
30. http://pl.wikipedia.org/wiki/Chropowato%C5%9B%C4%87_powierzchni
    http://pl.wikipedia.org/wiki/Paleolit
31. http://pl.wikipedia.org/wiki/Neolit
32. http://www.historicgames.com/lathes/springpole.html
33. http://www.historicgames.com/lathes/springpole.html
34. http://en.wikipedia.org/wiki/Henry_Maudslay
35. http://en.wikipedia.org/wiki/Joseph_Bramah
36. http://en.wikipedia.org/wiki/Henry_Maudslay
37. http://pl.wikipedia.org/wiki/Eli_Whitney
38. http://en.wikipedia.org/wiki/Charles_H._Norton_Housez
39. http://chem.ch.huji.ac.il/history/acheson.html
40. http://pl.wikipedia.org/wiki/Edward_Goodrich_Acheson
41. http://en.wikipedia.org/wiki/Synthetic_diamond
42. http://www.ptgem.pl/pokaz.php?id=31

43. http://www.ptgem.pl/pokaz.php?id=31
44. http://en.wikipedia.org/wiki/Borazon
45. http://pl.wikipedia.org/wiki/Azotek_boru
46. http://www.inter-diament.com.pl/zywica_pliki/poradnik_z.html
47. http://solutions.3m.com/wps/portal/3M/pl_PL/about-3M/information/more-info/history/
48. http://pl.wikipedia.org/wiki/Papier_%C5%9Bcierny
49. http://pl.wikipedia.org/wiki/Papier_%C5%9Bcierny
50. http://en.wikipedia.org/wiki/Sandpaper
51. http://solutions.3m.com/wps/portal/3M/pl_PL/about-3M/information/more-info/history/
52. http://www.horus.net.pl/dzialy/ms.htm
53. http://www.horus.net.pl/dzialy/ms.htm
54. http://www.narzedziownie.pl/?t=s&s=1&i=368
55. http://www.teberia.pl/news.php?id=5772
56. http://wckp.lodz.pl/b_okup/12/04.pdf
57. http://www.schleifring.net/redwork/do.php?layoutid=512&node=2141816015&language=2
58. http://www.schleifring.net/redwork/do.php?layoutid=512&node=2141816015&language=2
59. http://www.voumard.ch/300cnc-e.htm
60. http://www.ewag.com/redwork/do.php?layoutid=507&node=2141668683&language=2
61. http://www.zerspanungstechnik.de/modules.php?op=modload&name=News&file=article&sid=1064&mode=thread&order=0&thold=0
62. http://www.junker.de/eng/data/8.31629_E_0906_PLATEMAT.pdf
63. http://www.mikrosa.com/redwork/do.php?layoutid=503&node=2141799508&language=2
64. http://pdf.directindustry.com/pdf/peter-wolters/automation-loading-systems-24664-3551.html
65. http://www.junker-machinery.com/fra/data/8.31626_D_0906_QUICKPOINT_Blank.pdf

Spis tablic

Tablica 1 Twardości naturalnych materiałów ściernych 7
Tablica 2 Twardości syntetycznych materiałów ściernych 8

Spis rysunków

Rysunek 1 Podział obróbki ubytkowej 5
Rysunek 2 Twardości naturalnych materiałów ściernych 8
Rysunek 3 Twardości syntetycznych materiałów ściernych 9
Rysunek 4 Budowa narzędzia ściernego na przykładzie ściernicy tarczowej z konwencjonalnych materiałów ściernych 10
Rysunek 5 Zestaw ściernic....10
Rysunek 6 Ściernica listkowa talerzowa "POLERDISC" - płaska 11
Rysunek 7 Ściernice listkowe trzpieniowe (SLT)....11
Rysunek 8 Ściernica listkowa wachlarzowa (SLW-A) 11
Rysunek 9 Krążki ścierne z nacięciem promienistym [Kp] 11
Rysunek 10 Taśma ścierna bezkońcowa 11
Rysunek 11 Arkusze ścierne 12
Rysunek 12 Osełki ścierne....12
Rysunek 13 Szlifierka narzędziowa nua 25 13
Rysunek 14 Szlifierka ond 350 14
Rysunek 15 Honownica pionowa SV-10....15
Rysunek 16 Dogładzarka do tworzącej wałeczków baryłkowych DTWb 10/30 E 15
Rysunek 17 Docierarka Speedfam 16
Rysunek 18 Wygładzarki odśrodkowe typu TURBO 17
Rysunek 19 Szkice obrabiarek z XIII i XIV wieku....21
Rysunek 20 Obrabiarka z około 1390 roku 22
Rysunek 21 Obrabiarka z XIV wieku 22
Rysunek 22 Obrabiarka z XVI wieku 24
Rysunek 23 Obrabiarka z XVI wieku 24
Rysunek 24 Henry Maudslay....26
Rysunek 25 Eli Whitney....28
Rysunek 26 Karbokorund....32
Rysunek 27 Edward Goodrich Acheson....32
Rysunek 28Acheson w swoim laboratorium 33
Rysunek 29 The Carborundum Company 34
Rysunek 30 Okładka prospektu Carborundum Company 34
Rysunek 31 Diamenty syntetyczne 36
Rysunek 32 Arkusz papieru ściernego 41
Rysunek 33 Papier ścierny....41
Rysunek 34 Materiał ścierny produkowany przez firmę 3M....44
Rysunek 35 Materiał ścierny produkowany przez firmę 3M....45
Rysunek 36 Pierwsza obrabiarka ze sterowaniem numerycznym NC 52
Rysunek 37 Schemat ideowy sterowania numerycznego NC....53
Rysunek 38 Szlifierka do wałków rozrządu CamGrind S firmy Studer Schaudt. 61
Rysunek 39 Szlifierka bezkłowa Kronos Speed firmy Studer....61
Rysunek 40 Uniwersalna szlifierka do powierzchni walcowych 300CNC firmy Vaumard 62
Rysunek 41 5-osiowa szlifierka narzędziowa Compact Line firmy Ewag....62

Rysunek 42 Centrum szlifiersko-erozyjnym Helitronic Power Diamond firmy Walter Maschinenbau....63
Rysunek 43 Szlifierka narzędziowa Quickpoint 3000 Blank firmy Erwin Junker Maschinenfabrik....63
Rysunek 44Szlifierka narzędziowa Platemat firmy Erwin Junker....64
Rysunek 45 Szlifierka Helitronic Micro do obróbki mikronarzędzi firmy Walter AG....64
Rysunek 46 Dwutarczowa szlifierka AC 1000-F firmy Peter Wolters AG....65