

Nowoczesne technologie – program doskonalenia zawodowego nauczycieli zawodu w przedsiębiorstwach branży metalowej

Projekt realizowany w latach 2010/2012 przez:

Centrum Promocji Innowacji i Rozwoju

W ramach Programu Operacyjnego Kapitał Ludzki
Priorytet III. Wysoka jakość systemu oświaty,
Działanie 3.4. Otwartość systemu edukacji w kontekście uczenia się przez całe życie
Poddziałanie 3.4.3 Upowszechnienie uczenia się przez całe życie

Treści programowe opracowane przez zespół w składzie:

1. Ewa Dębska
2. Sławomir Dybała
3. Janusz Kisiel
4. Ryszard Sachar
5. Zenon Zbiciak

SPIS TREŚCI

WSTĘP	7
ZAŁOŻENIA ORGANIZACYJNE KURSU	11
ROZDZIAŁ I. PODSTAWY TWORZENIA DOKUMENTACJI TECHNICZNEJ ORAZ MATERIAŁOZNAWSTWA	29
1. PODSTAWY TWORZENIA DOKUMENTACJI TECHNICZNEJ	29
1.1 WYMIAROWANIE	29
1.2 TOLEROWANIE WYMIARÓW	35
1.3 TOLERANCJA KSZTAŁTU	37
1.4 TOLERANCJE POŁOŻENIA	40
1.5 GEOMETRYCZNA STRUKTURA POWIERZCHNI – CHROPOWATOŚĆ, FALISTOŚĆ	42
1.6 OZNACZANIE STANU POWIERZCHNI W DOKUMENTACJI TECHNICZNEJ WYROBU	44
1.7 OZNACZENIE OBRÓBKIE CIEPLNEJ	48
2. PODSTAWY MATERIAŁOZNAWSTWA	49
2.1 KRYTERIA KLASYFIKACJI STALI PN-EN 10020: 2003	49
2.2 KLASY JAKOŚCI STALI NIESTOPOWYCH	49
2.3 KLASY JAKOŚCI STALI STOPOWYCH	49
2.4 OZNACZANIE STALI WEDŁUG NORM EUROPEJSKICH	50
2.5 OZNACZENIE STALI WG PN-EN 10027-1	51
2.6 OZNACZANIE STALI WG SKŁADU CHEMICZNEGO	51
2.7 OZNACZANIE STALI WG ZASTOSOWANIA I WŁASNOŚCI	52
2.8 OZNACZANIE STALI WG PN-EN-10027-2	52
2.9 ŻELIWA	54
3. ZASTOSOWANIE PROGRAMÓW KOMPUTEROWEGO WSPOMAGANIA PROJEKTOWANIA W TWORZENIU DOKUMENTACJI TECHNICZNEJ CAD/CAM	56
3.1 WSPÓŁCZESNY PROCES PROJEKTOWANIA I WYTWARZANIA	56
3.2 OPTIMALIZACJA KONSTRUKCJI I TECHNOLOGII	58
3.3 CHARAKTERYSTYKA SYSTEMÓW CAD	58
ZAŁĄCZNIKI DO ROZDZIAŁU	59
ROZDZIAŁ II. OBRABIARKI STEROWANE NUMERYCZNIE	68
4. OBRABIARKI STEROWANE NUMERYCZNIE	68
4.1 DEFINICJE OSN (CNC)	68
4.2 WYBRANE TECHNOLOGIE W KTÓRYCH, STOSOWANE SĄ OSN	75
4.2.1 NOWOCZESNE TECHNOLOGIE PRODUKCJI W OBRÓBCE SKRAWANIEM	75
4.2.2 TECHNOLOGIE LASEROWE	77
4.2.3 CIĘCIE PLAZMĄ	80
4.2.4 WATERJET – STRUMIEŃ WODY	82
4.3 BUDOWA I ZASADA DZIAŁANIA OBRABIAREK STEROWANYCH NUMERYCZNIE	85
4.4 UKŁADY WSPÓLRZĘDNYCH STOSOWANE W OSN – RODZAJE, ZASADY ZAPISU	89
4.4.1. UKŁADY WSPÓLRZĘDNYCH	90
4.4.2. PUNKTY CHARAKTERYSTYCZNE OBRABIARKI	94
4.4.3. ZAPIS UKŁADÓW WSPÓLRZĘDNYCH NA WIELOCZŁONOWYCH MANIPULATORACH ROBOTÓW PRZEMYSŁOWYCH	95
4.5 LITERATURA	102
ROZDZIAŁ III. PODSTAWY OBRÓBKIE SKRAWANIEM NA OSN	103
5. OBRÓBKA SKRAWANIEM NA OSN	103
5.1 RODZAJE OBRÓBEK REALIZOWANYCH NA OSN; MOŻLIWOŚCI TECHNOLOGICZNE OBRABIAREK STEROWANYCH NUMERYCZNIE	103
5.2 EKONOMIKA OBRÓBKIE SKRAWANIEM	107
5.3 NARZĘDZIA SKRAWAJĄCE	110
5.4 RODZAJE NARZĘDZI SKRAWAJĄCYCH	115
5.4.1 PODZIAŁ NARZĘDZI FREZARSKICH	116
5.4.2 PODZIAŁ NARZĘDZI OBROTOWYCH	119
5.5 PRODUCENCI NARZĘDZI SKRAWAJĄCYCH W POLSCE	123
5.6 ZASADY DOBORU NARZĘDZI SKRAWAJĄCYCH	125
5.7 WYBRANE ZAGADNIENIA DOBORU PARAMETRÓW SKRAWANIA	126
5.8 NAJWAŻNIEJSZE ZAGADNIENIA WYDAJNEGO FREZOWANIA	129
5.9 OPRZYRZĄDOWANIE TECHNOLOGICZNE OBRABIAREK	130

5.10 UZBROJENIE I USTAWIENIE OBRABIARKI SN.....	132
5.11 PROGRAMOWANIE OBRABIAREK STEROWANYCH NUMERYCZNIE	132
6. WSTĘP DO TECHNOLOGII GIĘCIA NA PRASACH KRAWĘDZIOWYCH STEROWANYCH NUMERYCZNIE	141
6.1 WPROWADZENIE	141
6.2 TYPY GIĘCIA.....	141
6.3 GIĘCIE SWOBODNE	141
6.4 PARAMETRY GIĘCIA	144
6.5 ZASADA DZIAŁANIA KRAWĘDZIARKI STEROWANEJ NUMERYCZNIE.....	149
6.6 BUDOWA KRAWĘDZIARKI STEROWANEJ NUMERYCZNIE.....	150
6.7 STEROWANIE	152
6.8 PRZYGOTOWANIE DANYCH DO PROGRAMU	152
6.9 ZADANIA OPERATORA	161
6.10 PRZYGOTOWANIE MASZyny DO PRACY.....	161
6.11 WCZYTANIE LUB WYGENEROWANIE PROGRAMU WYKONUJĄCEGO GIĘCIE	162
6.12 DOBÓR NARZĘDZI	163
6.12 KOLEJNOŚĆ GIĘĆ	166
6.13 ZAŁĄCZNIKI	171
7. WSTĘP DO TECHNOLOGII CIĘCIA LASEREM	175
7.1 OBRÓBKA BLACH	175
7.2 ŚWIATŁO JAKO NARZĘDZIE TNĄCE	175
7.3 RODZAJE LASERÓW	178
7.4 WYCINARKI LASEROWE.....	183
7.4.1 BUDOWA WYCINARKI LASEROWEJ	183
7.4.2 DROGA WIĄZKI	184
7.4.3 INSTALACJA GAZOWA.....	185
7.4.4 TECHNOLOGIA CIĘCIA LASEREM	186
7.4.5 PARAMETRY TECHNOLOGICZNE CIĘCIA	190
7.5 ELEMENTY PRACY OPERATORA	198
7.6 LITERATURA	200

Wstęp

W ostatnich latach system edukacji w Polsce uległ wielu istotnym przeobrażeniom służącym poprawie warunków kształcenia i wychowania. Dążymy do tego, by polska szkoła była nowoczesna, przyjazna, otwarta na różnorodne inicjatywy i sposoby zdobywania przez uczniów wiedzy i umiejętności oraz podnoszenia poziomu ich wykształcenia.

Celem kształcenia zawodowego jest przygotowanie do wykonywania konkretnego zawodu. Kształcenie zawodowe w Polsce jest realizowane w systemie szkolnym w zasadniczych szkołach zawodowych, technikach, technikach uzupełniających oraz szkołach policealnych.

Jednym z priorytetowych zadań polityki oświatowej państwa jest skuteczna edukacja zawodowa, by absolwent szkoły prowadzącej kształcenie zawodowe odnalazł swoje miejsce na rynku pracy zgodnie z uzyskanymi i potwierdzonymi kwalifikacjami, jak najbliższymi potrzebom pracodawców.

Kształcenie i doskonalenie nauczycieli jest nakazem czasu, ponieważ to oni kierują rozwojem ucznia, a w efekcie kreują nową generację. Praca zawodowa nauczyciela wymaga nie tylko coraz lepszego wykształcenia, ale także coraz większego wkładu osobowego, zdolności i zamiłowań.

Doskonalenie zawodowe nauczycieli w Polsce odwołuje się w swoich założeniach do idei edukacji ustawicznej, zwanej też kształceniem przez całe życie, w trakcie którego jego organizatorzy starają się wyeliminować rozbieżności między teorią a praktyką edukacji. Proces ten przebiega w toku pracy zawodowej nauczycieli, stając się czymś tak samo oczywistym jak to, że do wykonania tej profesji niezbędne są odpowiednie kwalifikacje.

Centrum Promocji Innowacji i Rozwoju w oparciu o swoje doświadczenia we współpracy z firmami z branży mechanicznej dostrzegło konieczność skierowania swoich działań do placówek kształcenia zawodowego w celu przybliżenia innowacyjnych rozwiązań i procesów technologicznych stosowanych w branży metalowej, obsługi nowoczesnego sprzętu np. maszyn i obrabiarek sterowanych numerycznie.

Realizowany projekt „Nowoczesne technologie – program doskonalenia zawodowego nauczycieli zawodu w przedsiębiorstwach branży metalowej” zakłada doskonalenie umiejętności nauczycieli zawodu w zakresie obsługi nowoczesnych urządzeń.

Celem projektu jest opracowanie programu doskonalenia zawodowego nauczycieli, w ramach którego uczestnicy odbędą szkolenia teoretyczne, warsztaty w zakresie obsługi obrabiarek CNC i zajęcia praktyczne z zakresu technologii stosowanych w przedsiębiorstwach obróbki metali.

W opracowaniu niniejszego programu brali udział przedstawiciele przedsiębiorców, nauczycieli akademickich, nauczycieli przedmiotów zawodowych, metodyków oraz pracownicy Centrum Promocji Innowacji i Rozwoju.

Prace nad programem podzielone zostały na trzy etapy:

1. Opracowanie założeń programu, jego treści, struktury w części teoretycznej i praktycznej oraz opracowanie materiałów dydaktycznych.
2. Przeprowadzono konsultacje w wybranych szkołach zawodowych województwa lubelskiego dotyczące trafności doboru treści programowych i spraw organizacyjnych szkolenia.
3. Realizacja szkoleń teoretycznych oraz zajęć warsztatowych i praktycznych. w tym etapie uwzględniono wnioski wszystkich osób biorących udział w realizacji programu, zarówno nauczycieli objętych szkoleniami, jak i kadry szkoleniowej.

Ewaluacja zaplanowanych i zrealizowanych zadań miała na celu przygotowanie ulepszonej, końcowej wersji programu doskonalenia zawodowego nauczycieli w zakresie stosowania nowoczesnych technologii, tj. obsługi

maszyn i obrabiarek sterowanych numerycznie. Publikacja tego programu powinna stanowić zachętę do współpracy szkół zawodowych z przedsiębiorcami w celu rzetelnego przygotowania absolwentów szkół zawodowych zgodnie z oczekiwaniami zmieniającego się rynku pracy.

Przygotowanie zmian w programach nauczania oraz nowych programów nauczania jest warunkiem nowoczesnego podejścia do edukacji zawodowej. W związku powyższym autorzy i realizatorzy niniejszego programu mają nadzieję, że niniejsza publikacja przyczyni się do podejmowania działań w celu ulepszenia programów nauczania i zacieśnienia współpracy z przedsiębiorstwami.

Realizatorzy i autorzy

ZAŁOŻENIA ORGANIZACYJNE KURSU

1. Założenia ogólne

Dynamiczny wzrost rozwoju gospodarki kraju, zmieniające się technologie procesu konstruowania i wytwarzania, wymuszają od szkoły zawodowej wprowadzania zmian w kształceniu. Należy przygotować ucznia do pracy, który będzie radził sobie w ciągle zmieniającym się przemyśle.

Chcemy, aby absolwent szkoły technicznej sprostał wymaganiom dynamicznego rynku pracy i miał wiedzę techniczną odpowiadającą standardom. Dobrze wykształceni uczniowie, będą wówczas, gdy nauczyciele będą mogli na bieżąco aktualizować swoją wiedzę i umiejętności techniczne.

Celem kształcenia zawodowego jest przygotowanie uczących się do życia w warunkach współczesnego świata, wykonywania pracy zawodowej i aktywnego funkcjonowania na zmieniającym się rynku pracy.

Zadania szkoły oraz sposób ich realizacji są uwarunkowane zmianami zachodzącymi w otoczeniu gospodarczo-społecznym, na które wpływają w szczególności: idea gospodarki opartej na wiedzy, globalizacja procesów gospodarczych i społecznych, rosnący udział handlu międzynarodowego, mobilność geograficzna i zawodowa, nowe techniki i technologie, a także wzrost oczekiwań pracodawców w zakresie poziomu wiedzy i umiejętności pracowników.

Niniejszy projekt służy tym zmianom. Ma na celu przygotowanie dobrze wykształconych nauczycieli zawodu, wyposażonych w aktualną wiedzę techniczną. Odbycie przez nich staży w nowoczesnych zakładach przemysłowych pozwoli na zaktualizowanie wiedzy, poznanie nowoczesnych sposobów projektowania i wytwarzania oraz przełoży się na jakość kształcenia technicznego w szkołach zawodowych. Tak wykształceni nauczyciele zawodu są w stanie dobrze przygotować ucznia do pracy.

2. Cel ogólny kursu

Podniesienie jakości nauczania w szkolnictwie zawodowym i dostosowanie do wymagań nowoczesnego rynku pracy.

3. Cele szczegółowe:

- zwiększenie poziomu wiedzy i umiejętności nauczycieli przedmiotów zawodowych i praktycznej nauki zawodu w zakresie nowoczesnych technologii stosowanych w firmach branży metalowej,
- zapoznanie nauczycieli z warunkami i specyfiką pracy firm branży metalowej,
- umożliwienie zdobycia wiedzy teoretycznej i praktycznej w zakresie obsługi obrabiarek CNC i sprzętu sterowanego w branży metalowej,
- wypracowanie dobrych praktyk w zakresie doskonalenia nauczycieli przedmiotów zawodowych w odniesieniu do realiów nowoczesnej gospodarki,
- zapoznanie się nauczycieli z nowoczesnym parkiem maszynowym oraz nabycie umiejętności z zakresu programowania i obsługi obrabiarek sterowanych numerycznie,
- dostosowanie umiejętności grupy docelowej do aktualnych wymagań branży metalowej w kontekście kształcenia przyszłych kadr,
- promowanie kształcenia ustawicznego.

4. Przewidywane efekty

Po ukończeniu kursu wszyscy uczestnicy winni posiadać umiejętności w zakresie:

- opracowania dokumentacji procesu technologicznego,

- przygotowania obrabiarki CNC do pracy,
- obsługi obrabiarek CNC i sprzętu stosowanego w branży metalowej,
- przeprowadzenia kontroli technicznej.

5. Struktura kursu

Uczestnikami kursu są nauczyciele praktycznej nauki zawodu i nauczyciele teoretycznych przedmiotów zawodowych. Zajęcia podzielono na następujące moduły:

- zajęcia teoretyczne, w wymiarze 30 godzin, prowadzone przez wykładowców akademickich uczelni technicznych, kadre inżynierską zatrudnioną w zakładach przemysłowych,
- ćwiczenia warsztatowe, w wymiarze 40 godzin, prowadzone będą na obrabiarkach szkoleniowych i programach symulacyjnych
- zajęcia praktyczne, w wymiarze 80 godzin, będą prowadzone pod opieką i nadzorem mistrzów w przedsiębiorstwach branży metalowej.

Każdy z uczestników odbędzie staż w wybranym przedsiębiorstwie. Czas trwania stażu – 2 tygodnie – 80 h zajęć. Staż odbywać się będzie w dwu lub trzyosobowych grupach.

6. Uwagi dotyczące realizacji programu

Program doskonalenia zawodowego nauczycieli został opracowany pod kierunkiem: doradców metodycznych, nauczycieli zawodu, wykładowców wyższych uczelni o profilu technicznym, przedstawicieli firm branży metalowej. Tematyka i zakres doskonalenia zawodowego jest dostosowana do aktualnych potrzeb w zakresie kształcenia szkolnictwa zawodowego. Główny nacisk położono na ćwiczenia warsztatowe i część praktyczną kursu. Uczestnicy szkolenia otrzymają szczegółowy program kursu i materiały pomocnicze w formie publikacji zwartej. Publikacja finalnej wersji programu będzie udostępniona po korektach na zakończenie kursu.

7. Dokumentacja kursu

Na dokumentację składają się:

- opis procedury rekrutacji,
- szczegółowy program kursu,
- harmonogram zajęć,
- procedury i narzędzia ewaluacyjne,
- dziennik zajęć,
- dziennik praktyk,
- rejestr wydanych zaświadczeń.

8. Ewaluacja

Kurs podlega ewaluacji wewnętrznej. O formie i zakresie ewaluacji kursu decyduje placówka organizująca kurs.

Narzędzia ewaluacyjne powinny weryfikować:

- organizację kursu,

- treści nauczania,
- metodykę prowadzenia zajęć,
- przygotowanie praktyczne, merytoryczne i metodyczne prowadzących zajęcia,
- jakość materiałów pomocniczych,
- warunki techniczne prowadzenia kursu,
- stopień spełnienia oczekiwań kursu.

Udokumentowaniem procesu ewaluacji jest raport. Zespół realizujący kurs uwzględni wnioski i zalecenia wynikające z ewaluacji.

I. TREŚCI PROGRAMOWE KURSU

Struktura i zakres kursu „Nowoczesne technologie – program doskonalenia zawodowego nauczycieli zawodu w przedsiębiorstwach obróbki metali”.

A. SZKOLENIE TEORETYCZNE – w wymiarze 30 godz.

Lp.	Nazwa bloku	Liczba godzin
1	<p>Podstawy tworzenia dokumentacji technicznej:</p> <ul style="list-style-type: none"> • prezentacja i wykorzystanie najnowszych norm z zakresu tworzenia rysunków technicznych (wymiarowanie, tolerowanie wymiarów, zapis tolerancji geometrycznej na rysunkach, oznaczanie GSP), • podstawowe i nowe materiały konstrukcyjne stosowane w przemyśle maszynowym: <ul style="list-style-type: none"> - podział materiałów wg gatunku, - podział materiałów wg postaci – blachy, taśmy, bednarki, pręty, rury, kształtowniki (kątowniki, ceowniki, teowniki), • oznaczanie materiałów konstrukcyjnych stosowanych w przemyśle według norm PN– EN– ISO, • wykorzystanie rysunku wykonawczego w planowaniu procesu technologicznego części na obrabiarki CNC, • dokumentacja techniczna procesu technologicznego części maszyn, • zastosowanie programów komputerowego wspomaganie projektowania w tworzeniu dokumentacji technicznej CAD/CAM, generowanie programu obróbki konturu przedmiotu o małym stopniu złożoności, • nowoczesne techniki pomiarowe. 	8
2	<p>Obrabiarki sterowane numerycznie:</p> <ul style="list-style-type: none"> • definicje OSN (CNC), • technologie w których stosowane są OSN (toczenie, frezowanie, cięcie laserowe, ciecie plazmowe, ciecie wodą, gięcie blach i profili kształtowych, zwijanie blach, spawanie i inne), • rodzaje maszyn sterowanych numerycznie, budowa i zasady działania najczęściej stosowanych w produkcji OSN (tokarki CNC, centra frezarskie, wycinarki laserowe, prasy krawędziowe SN), • układy współrzędnych – rodzaje stosowanych układów współrzędnych oraz zasady zapisu układów współrzędnych. 	4

3	<p>Obróbka skrawaniem na OSN:</p> <ul style="list-style-type: none"> • podstawowe rodzaje obróbek realizowanych na OSN, • ekonomika obróbki skrawaniem, • narzędzia skrawające: <ul style="list-style-type: none"> - rodzaje narzędzi skrawających, - materiały stosowane w produkcji narzędzi skrawających, - dobór narzędzi i parametrów obróbki, - oprzyrządowanie technologiczne, mocowanie obrabianych przedmiotów, • uzbrajanie i ustawianie obrabiarki OSN, • programowanie obrabiarek CNC do obróbki skrawaniem – sposoby programowania ruchów w OSN, charakterystyka powszechnie stosowanych programów (Sinumerik, Fanuc) i zapisów algorytmów pracy OSN, oprogramowanie symulujące pracę OSN (np. EMCO, MTS). 	10
4	<p>Wycinanie laserowe:</p> <ul style="list-style-type: none"> • rodzaje stosowanych w przemyśle laserów (gazowe, YAG, włóknowe), • podstawowe wiadomości o rezonatorach, zasadach powstawania wiązki laserowej i wykorzystywaniu jej w procesie cięcia, • gazy laserowe i tnące, • programowanie cięcia na wycinarkach laserowych. 	4
5	<p>Gięcie na krawędziarkach SN:</p> <ul style="list-style-type: none"> • podstawowe zasady gięcia swobodnego – oś obojętna oraz obliczanie jej położenia, obliczanie parametrów gięcia (siły nacisku i promienia gięcia), • kompensacja strzałki ugięcia, • narzędzia stosowane w procesie gięcia na krawędziarkach SN, dobór odpowiednich stempli i matryc, • tworzenie rozwinięć części giętych, zależność rozwinięć od rodzaju narzędzi i metod gięcia, • programowanie gięcia. 	4
6	Razem	30

B. ĆWICZENIA WARSZTATOWE – w wymiarze 40 godzin

Lp.	Nazwa bloku	Liczba godzin
1	Przepisy BHP i ergonomia pracy w zakresie obszaru zawodowego CNC. <ul style="list-style-type: none"> Ogólne zasady bezpieczeństwa i higieny pracy oraz przepisy przeciwpożarowe. Przepisy BHP podczas obsługi obrabiarek CNC. 	2
2	Podstawy technologii maszyn i urządzeń. Obróbka skrawaniem i narzędzia skrawające w zakresie obrabiarek CNC. <ul style="list-style-type: none"> Ogólne zasady procesu obróbki skrawaniem i materiały narzędziowe stosowane w obróbce skrawaniem. Dobór parametrów technologicznych. Kontrola stanu zużycia narzędzi skrawających. 	6
3	Kompletowanie i czytanie dokumentacji technicznej. <ul style="list-style-type: none"> Analiza dokumentacji technicznej. Analiza procesu technologicznego. Dobór oprzyrządowania technologicznego. 	6
4	Obsługa i użytkowanie obrabiarki sterowanej w systemie CNC. Ustawienie parametrów, nadzorowanie, uruchamianie i zatrzymanie obrabiarki sterowanej numerycznie. <ul style="list-style-type: none"> Identyfikacja elementów pulpitu sterownika obrabiarki CNC. Wybór trybu pracy sterownika obrabiarki. Sprawdzenie przygotowania obrabiarki CNC do pracy. Uruchomienie i zatrzymanie obrabiarki sterowanej numerycznie. 	2
5	Obsługa obrabiarki CNC. Wczytywanie i weryfikacja programów obróbki. Przygotowanie stanowiska pracy. <ul style="list-style-type: none"> Analiza struktury programu i bloku. Punkty odniesienia obrabiarki CNC. Zarządzanie programami obróbki skrawaniem na obrabiarce CNC. Uruchomienie programu obróbki na obrabiarce sterowanej numerycznie. Procedura zatrzymania obrabiarki CNC po wykonaniu obróbki. 	6
6	Dostosowanie programów operacji technologicznych do używanej obrabiarki CNC. <ul style="list-style-type: none"> Programowanie przesunięcia bazy przedmiotu obrabianego. Wprowadzanie korekt do programu. 	2
7	Programowanie obrabiarki CNC. Dobieranie narzędzi, ustawianie, wprowadzanie danych do sterownika. <ul style="list-style-type: none"> Programowanie danych dotyczących narzędzia skrawającego. Programowanie drogi przejścia narzędzia. 	6
8	Pomiar kształtu i wymiarów przedmiotu obrabianego. Obsługiwanie przyrządów i aparatów pomiarowych do sprawdzania jakości wykonanej obróbki. <ul style="list-style-type: none"> Organizacja stanowiska pomiarowego i konserwacja narzędzi pomiarowych. Kontrola przedmiotu obrabianego i analiza wyników pomiarów. 	2
9	Zajęcia praktyczne. Wytwarzanie na obrabiarce sterowanej numerycznie części maszynowych na podstawie dostarczonej dokumentacji technologicznej i programu obróbki.	8
	Razem:	40

C. CZĘŚĆ PRAKTYCZNA – w wymiarze 80 godz.

Lp.	Nazwa bloku	Liczba godzin
1	Szkolenie wstępne BHP w zakładzie.	2
2	Obrabiarki OSN do obróbki skrawaniem (centra obróbcze i tokarskie).	50
2.1	Szkolenie stanowiskowe BHP.	2
2.2	Obsługa obrabiarek CNC. <ul style="list-style-type: none"> Bezpieczne włączenie i wyłączenie obrabiarki. Uzbrajanie magazynu narzędzi i głowicy narzędziowej (w przypadku tokarek). Standardowa obsługa serwisowa (wymiana filtrów, uzupełnianie oleju, smarowanie, itp.). Obsługa serwisowa w sytuacjach awaryjnych. Praca w trybie automatycznym, półautomatycznym, ręcznym itp. Dobór narzędzi i parametrów obróbki. 	6
2.3	Realizacja procesu technologicznego na obrabiarkach CNC. Czynności wstępne procesu technologicznego na obrabiarkach CNC. <ul style="list-style-type: none"> Szkolenie stanowiskowe bhp. Analiza dokumentacji technicznej (rysunek konstrukcyjny, proces technologiczny, tabulogram programu obróbki). Montaż i pomiar narzędzi. Wprowadzenie parametrów narzędzi do pamięci (korekcja długości, promienia, czas pracy itp.). Zamocowanie i zdjęcie przyrządu mocującego (uniwersalnego, specjalnego). Ustawienie punktu zerowego (lub punktów zerowych) oraz wprowadzenie do pamięci. Wybór właściwego programu. Testowanie programów (nowego, wykonywanego cyklicznie). Czynności operatorskie procesu technologicznego na CNC. <ul style="list-style-type: none"> Mocowanie detali. Korekta wymiarów detalu technologicznego. Bieżąca obsługa narzędzi (montaż i mocowanie). Określenie zużycia narzędzia (właściwy moment wymiany). 	26
2.4	Ekonomika obróbki w praktyce. <ul style="list-style-type: none"> Opracowanie procesu technologicznego na prosty detal z wyborem metod obróbki zgodnych z dotychczasowym programem nauczania. Opracowanie procesu technologicznego na ten sam detal z wykorzystaniem nowoczesnej metody obróbki. Opracowanie programu obróbki tego detalu, testowanie i wykonanie detalu na obrabiarce. Porównanie kosztów wykonania detalu wykonanego jedną i drugą metodą. 	16
3	Wycinarki	14
3.1	Szkolenie stanowiskowe bhp.	1
3.2	Obsługa maszyny i realizacja procesu wycinania laserowego.	13

	<ul style="list-style-type: none"> • Zasady przygotowania dokumentacji technologicznej (raport, program NC) na podstawie rysunków konstrukcyjnych i kompletacji detali. • Bezpieczne włączenie i wyłączenie wycinarki laserowej. • Analiza dokumentacji technologicznej. • Wczytanie programu do pamięci operacyjnej maszyny. • Kontrola poprawności ustawień (symulacja, parametry technologiczne). • Założenie odpowiedniej głowicy i dokonanie ustawień wstępnych. • Załadunek arkusza blachy przy pomocy dostępnych urządzeń (np. suwnica z zestawem przysawek). • Wycięcie pierwszej sztuki, zatrzymanie programu, kontrola jakości powierzchni. • Kontrola wymiarów wg rysunku konstrukcyjnego. • Wznowienie programu. • Wymiana palet na zakończenie programu (automatyczna i ręczna). • Podstawowe czynności konserwacyjne (czyszczenie wnętrza maszyny, zasada obsługi filtrów z pyłem metalicznym, konserwacji listew na palecie). <p><i>Uczestnik kursu, pod nadzorem instruktora opracuje program wycięcia prostego detalu oraz zrealizuje proces jego wykonania.</i></p>	
4	Prasy krawędziowe SN.	10
4.1	Szkolenie stanowiskowe BHP.	1
4.2	Obsługa krawędziarki.	4
	<ul style="list-style-type: none"> • Bezpieczne włączanie i wyłączenie krawędziarki. • Mocowanie narzędzi (stempli i matryc). • Wykonanie detalu. • Kontrola wykonanego detalu, wprowadzanie korekcji kąta gięcia i wysokości półek. • Podstawowe czynności konserwacyjne. 	
4.3	Realizacja procesu technologicznego na prasach krawędziowych.	5
	<ul style="list-style-type: none"> • Analiza dokumentacji konstrukcyjnej i technologicznej. • Dobór narzędzi (zestaw stempel + matryca). • Ustalenie kolejności gięć. • Tworzenie zestawów segmentów gnących – dobór długości i optymalizacja ich ilości. • Tworzenie prostego programu do gięcia przy użyciu CAM (na krawędziarce lub zewnętrznym komputerze). • Sprawdzanie rozwinięcia. • Kontrola wykonania detalu na symulacji, sprawdzania kolizji. 	
5	Kontrola jakości wykonania	4
	<ul style="list-style-type: none"> • Dobór właściwego sprzętu pomiarowego. • Posługiwanie się narzędziami pomiarowymi. • Realizacja kontroli technicznej (wykonywanie pomiarów). 	
	Razem:	80

II. Cele, treści szkolenia i przewidywane osiągnięcia kursu „Nowoczesne technologie – program doskonalenia zawodowego nauczycieli zawodu w przedsiębiorstwach obróbki metali”.

A. SZKOLENIE TEORETYCZNE

A.1 Podstawy tworzenia dokumentacji technicznej

Cele szkolenia:

- przypomnienie zasad prawidłowego opracowania rysunku wykonawczego danego detalu (wymiarowanie, tolerowanie wymiarów, zapis tolerancji geometrycznej na rysunkach, oznaczanie GSP),
- zapoznanie z podstawowymi materiałami konstrukcyjnymi stosowanymi w przemyśle maszynowym oraz dokonanie ich podziału wg gatunku i postaci,
- prawidłowe oznaczanie materiałów konstrukcyjnych stosowanych w przemyśle według norm PN–EN–ISO,
- wykorzystanie rysunku wykonawczego w planowaniu procesu technologicznego części na obrabiarki CNC,
- zastosowanie programu komputerowego wspomaganie projektowania programów do tworzenia dokumentacji technicznej CAD/CAM, generowania programu obróbki konturu przedmiotu o małym stopniu złożoności,
- stosowanie nowoczesnych technik pomiarowych.

Treści szkolenia:

- prezentacja i wykorzystanie najnowszych norm z zakresu tworzenia rysunków technicznych (wymiarowanie, tolerowanie wymiarów, zapis tolerancji geometrycznej na rysunkach, oznaczanie GSP),
- podstawowe i nowe materiały konstrukcyjne stosowane w przemyśle maszynowym:
 - podział materiałów wg gatunku,
 - podział materiałów wg postaci – blachy, taśmy, bednarki, pręty, rury, kształtowniki (kątowniki, ceowniki, teowniki),
- oznaczanie materiałów konstrukcyjnych stosowanych w przemyśle według norm PN–EN–ISO,
- wykorzystanie rysunku wykonawczego w planowaniu procesu technologicznego części na obrabiarki CNC,
- dokumentacja techniczna procesu technologicznego części maszyn,
- zastosowanie programów komputerowego wspomaganie projektowania w tworzeniu dokumentacji technicznej CAD/CAM, generowanie programu obróbki konturu przedmiotu o małym stopniu złożoności,
- nowoczesne techniki pomiarowe.

Przewidywane osiągnięcia

W wyniku procesu kształcenia uczestnik kursu powinien nabyć następujące umiejętności:

- prawidłowo czytać rysunki techniczne wykonane wg PN–EN–ISO,

- określać na rysunku symbole materiałów konstrukcyjnych według PN–EN–ISO,
- sprawnie posługiwać się dokumentacją technologiczną,
- wykonać prostą dokumentację techniczną w programie CAD,
- scharakteryzować nowoczesne techniki pomiarowe.

A.2 Obrabiarki sterowane numerycznie

Cele szkolenia:

- zapoznanie z podstawowymi pojęciami OSN (CNC),
- zapoznanie z technologiami, w których stosowane są OSN (toczenie, frezowanie, cięcie laserowe, ciecie plazmowe, ciecie wodą, gięcie blach i profili kształtowych, zwijanie blach, spawanie,
- poznanie rodzajów maszyn sterowanych numerycznie, budowy i zasady działania najczęściej stosowanych w produkcji OSN (tokarki CNC, centra frezarskie, wycinarki laserowe, prasy krawędziowe SN),
- zapoznanie z rodzajami stosowanych układów współrzędnych oraz zasadami zapisu układów współrzędnych.

Treści szkolenia:

- definicje OSN (CNC),
- technologie, w których stosowane są OSN (toczenie, frezowanie, cięcie laserowe, ciecie plazmowe, ciecie wodą, gięcie blach i profili kształtowych, zwijanie blach, spawanie i inne),
- rodzaje maszyn sterowanych numerycznie, budowa i zasady działania najczęściej stosowanych w produkcji OSN (tokarki CNC, centra frezarskie, wycinarki laserowe, prasy krawędziowe SN),
- układy współrzędnych – rodzaje stosowanych układów współrzędnych oraz zasady zapisu układów współrzędnych.

Przewidywane osiągnięcia

W wyniku procesu kształcenia każdy uczestnik kursu powinien:

- znać podstawowe definicje OSN (CNC),
- poznać podstawowe technologie, w których są stosowane OSN,
- zapoznać się z podstawowymi rodzajami maszyn sterowanych numerycznie oraz ich budową i zasadą działania np. tokarki CNC, centra frezarskie, wycinarki laserowe, prasy krawędziowe.

A.3 Obróbka skrawaniem na OSN

Cele szkolenia:

- zapoznanie z podstawowymi rodzajami obróbek realizowanych na OSN,
- zapoznanie z ekonomiką obróbki skrawaniem,
- zapoznanie z rodzajami narzędzi skrawających,
- zapoznanie z materiałami stosowanymi w produkcji narzędzi skrawających,

- zapoznanie z doбором narzędzi i parametrów obróbki,
- zapoznanie z oprzyrządowaniem technologicznym, mocowaniem obrabianych przedmiotów, uzbrajaniem i ustawianiem obrabiarki OSN,
- zapoznanie z programowaniem obrabiarek CNC do obróbki skrawaniem – sposoby programowania ruchów w OSN, charakterystyka powszechnie stosowanych programów (Sinumerik, Fanuc) i zapisów algorytmów pracy OSN, oprogramowanie symulujące pracę OSN (np. EMCO, MTS).

Treści szkolenia:

- podstawowe rodzaje obróbek realizowanych na OSN,
- ekonomika obróbki skrawaniem,
- narzędzia skrawające:
 - rodzaje narzędzi skrawających,
 - materiały stosowane w produkcji narzędzi skrawających
 - dobór narzędzi i parametrów obróbki,
 - oprzyrządowanie technologiczne, mocowanie obrabianych przedmiotów,
- uzbrajanie i ustawianie obrabiarki OSN,
- programowanie obrabiarek CNC do obróbki skrawaniem – sposoby programowania ruchów w OSN,
- charakterystyka powszechnie stosowanych programów (Sinumerik, Fanuc) i zapisów algorytmów pracy OSN,
- oprogramowanie symulujące pracę OSN (np. EMCO, MTS).

Przewidywane efekty

W wyniku procesu kształcenia każdy uczestnik powinien:

- poznać podstawowe rodzaje obróbek wykonywanych na OSN,
- poznać ekonomiczne aspekty obróbki skrawaniem,
- poznać materiały stosowane na narzędzia skrawające oraz rodzaje narzędzi skrawających,
- dobrać narzędzia i parametry obróbki,
- prawidłowo mocować obrabiane przedmioty i zastosować oprzyrządowanie technologiczne.

A.4 Wycinanie laserowe

Cele szkolenia:

- zapoznanie z rodzajami stosowanych w przemyśle laserów (gazowe, YAG, włóknowe)
- zapoznanie z rezonatorami, zasadami powstawania wiązki laserowej i wykorzystywaniu jej w procesie cięcia,
- zapoznanie z gazami laserowymi i tnącymi,
- zapoznanie z programowaniem cięcia na wycinarkach laserowych.

Treści szkolenia:

- rodzaje stosowanych w przemyśle laserów (gazowe, YAG, włóknowe),
- podstawowe wiadomości o rezonatorach, zasadach powstawania wiązki laserowej i wykorzystaniu jej w procesie cięcia,
- gazy laserowe i tnące,
- programowanie cięcia na wycinarkach laserowych.

Przewidywane efekty

W wyniku procesu kształcenia każdy uczestnik powinien:

- znać podstawowe rodzaje laserów stosowanych w przemyśle,
- mieć wiedzę na temat rezonatorów, zasadach powstawania wiązki laserowej oraz wykorzystaniu jej w procesie cięcia oraz gazów laserowych i tnących,
- zaprogramować cięcie na wycinarkach laserowych.

A.5 Gięcie na krawędziarkach SN**Cele szkolenia:**

- zapoznanie z podstawowymi zasadami gięcia swobodnego,
- zapoznanie z narzędziami stosowanymi w procesie gięcia na krawędziarkach SN, doborem odpowiednich stempli i matryc,
- zapoznanie z tworzeniem rozwinięć części giętych, zależnością rozwinięć od rodzaju narzędzi i metod gięcia,
- zapoznanie z programowaniem gięcia.

Treści szkolenia:

- podstawowe zasady gięcia swobodnego – oś obojętna oraz obliczanie jej położenia, obliczanie parametrów gięcia (siły nacisku i promienia gięcia),
- kompensacja strzałki ugięcia,
- narzędzia stosowane w procesie gięcia na krawędziarkach SN, dobór odpowiednich stempli i matryc,
- tworzenie rozwinięć części giętych, zależność rozwinięć od rodzaju narzędzi i metod gięcia,
- programowanie gięcia.

Przewidywane efekty

W wyniku kształcenia uczestnik powinien:

- znać podstawowe zasady gięcia swobodnego,
- znać narzędzia stosowane w procesie gięcia, dobrać odpowiednie stemple i matryce,
- zaprogramować gięcie.

B. ĆWICZENIA WARSZTATOWE**Cel szkolenia:**

Zdobycie podstawowych umiejętności w zakresie obsługi obrabiarek sterowanych numerycznie.

Treści szkolenia:

Kurs ma na celu przygotowanie uczestników szkolenia w zakresie:

- przestrzegania przepisów bhp i ppoż. podczas obsługi maszyn i urządzeń,
- podstaw technologii skrawania,
- identyfikacji dokumentacji technicznej i technologicznej,
- wykorzystania specjalistycznego oprogramowania komputerowego CAD/CAM,
- przygotowania dokumentacji w programie CAD/CAM,
- projektowania procesu technologicznego oraz parametrów obróbki skrawaniem,
- programowania obrabiarek CNC,
- obsługi obrabiarek CNC.

Przewidywane efekty:

Szkolenie przyczyni się do nabycia przez słuchaczy podstawowych umiejętności z zakresu obsługi obrabiarek sterowanych numerycznie w wyniku których absolwent szkolenia nabeździe następujące umiejętności:

- czyszczenie i konserwacja obsługiwanych maszyn, uchwytów, przyrządów obróbkowych, narzędzi skrawających oraz narzędzi i przyrządów pomiarowych,
- dobieranie i ustawianie parametrów obróbki prostych detali,
- uruchamianie, obsługiwanie oraz nadzorowanie pracy obrabiarek sterowanych numerycznie,
- dobieranie na podstawie dokumentacji techniczno – technologicznej obrabiarek oprawek, uchwytów oraz innych pomocy warsztatowych do realizacji procesu technologicznego na obrabiarkach sterowanych numerycznie,
- eliminowanie podstawowych błędów obróbki oraz stosowanie sposobów zapobiegania ich powstawaniu,
- mocowanie narzędzi, przyrządów i uchwytów na obrabiarkach sterowanych numerycznie – wprowadzanie danych do sterownika,
- mocowanie obrabianego przedmiotu na obrabiarkach sterowanych numerycznie – ustawianie przesunięcia punktu zerowego,
- opracowywanie programów obróbki oraz modyfikacja programów istniejących na potrzeby obróbki prostych detali na obrabiarkach sterowanych numerycznie,
- przeprowadzanie operacji kontroli międzyoperacyjnej oraz kontroli ostatecznej wyrobu – ponoszenie odpowiedzialności za jakość wykonanej pracy,
- przygotowywanie stanowiska pracy zgodnie z przepisami BHP i ppoż. w celu uniknięcia wypadku podczas obsługi maszyn i urządzeń, ze szczególnym uwzględnieniem stosowania zasad BHP podczas czynności ustawczych oraz podczas trwania procesu obróbki,

- kontrolowanie sprawności obrabiarek, analizowanie dokumentacji techniczno – technologicznej, przygotowywanie narzędzi, uchwytów i przyrządów do obróbki detalu
- szacowanie, kalkulowanie i obliczanie kosztów związanych z realizacją procesu technologicznego obróbki,
- testowanie programów obróbki na obrabiarkach sterowanych numerycznie,
- udzielanie pomocy przedlekarskiej w razie wypadku przy pracy,
- wczytywanie i weryfikowanie programów obróbki w sterowniku obrabiarki,
- wprowadzanie innowacji na stanowisku pracy,
- wykonywanie podstawowych operacji skrawaniem – toczenie, wiercenie, gwintowanie, frezowanie itp. prostych detali, z wykorzystaniem zadanego programu,
- wykonywanie szkiców prostych detali oraz określanie kolejności operacji i zabiegów procesów technologicznych dotyczących obrabianych przedmiotów,
- wykorzystywanie informacji przedstawionych w formie rysunków, schematów, tabel, wykresów oraz dokumentacji techniczno – technologicznej do opracowania technologii obróbki metali i tworzyw sztucznych,
- wykorzystywanie informacji zawartych w poradnikach branżowych, normach technicznych (PN i ISO), a także w literaturze fachowej lub w postaci zapisu elektronicznego,
- stosowanie narzędzi i przyrządów pomiarowych oraz aparatury kontrolno–pomiarowej do sprawdzania dokładności wymiarowo–kształtowej i jakości obróbki obrabianych detali.

C. ZAJĘCIA PRAKTYCZNE

C.1 OBRABIARKI CNC DO OBRÓBK SKRAWANIEM (CENTRA OBRÓBCZE I TOKARKI)

C1.1 Obsługa obrabiarek CNC

Cele:

- poznanie od strony praktycznej zasad bezpiecznej obsługi obrabiarki SN (włączanie i wyłączanie, dobór narzędzi i parametrów obróbki, uzbrajanie magazynu narzędzi, standardowa obsługa serwisowa, praca w trybie ręcznym i półautomatycznym).

Treści szkolenia:

- bezpieczna obsługa obrabiarki (włączanie i wyłączanie, sprzątnięcie stanowiska po zakończonej pracy),
- ćwiczenie uzbrajania i opis magazynu (głowicy) narzędzi,
- zapoznanie się z podstawowymi czynnościami serwisowymi, i w miarę możliwości wykonanie tych czynności w praktyce,
- zapoznanie się z czynnościami serwisowymi występującymi w sytuacjach awaryjnych i w miarę potrzeby wykonanie tych czynności w praktyce,

- ćwiczenie pracy w trybie ręcznym i półautomatycznym.

Przewidywane efekty:

W wyniku szkolenia uczestnik kursu powinien posiadać umiejętność:

- bezpiecznej obsługi obrabiarki SN (uruchamiania i wyłączania obrabiarki, uzbrajania magazynu narzędzi i głowicy narzędziowej,
- standardowej obsługi serwisowej i radzenia sobie w sytuacjach awaryjnych,
- doboru narzędzi i parametrów obróbki,
- nabycie szacunku do obrabiarki, jako do swojego miejsca pracy.

C.1.2 Realizacja procesu technologicznego obróbki na obrabiarence CNC

Cele:

- praktyczne poznanie zasady realizacji procesu technologicznego na obrabiarence CNC,
- zapoznanie słuchaczy z czynnościami wstępnymi i operatorskimi procesu technologicznego na obrabiarence CNC.

Treści szkolenia:

- analiza dokumentacji konstrukcyjnej, procesu technologicznego i tabulogramu programu obróbki,
- montaż i pomiar narzędzi,
- obserwacja pracy narzędzi w celu określenia właściwego momentu zużycia, oraz ćwiczenie praktycznej wymiany zużytych narzędzi,
- wprowadzenie parametrów narzędzi do pamięci maszyny (korekcja długości, promienia, czasu pracy itp.),
- zapoznanie się z zasadami mocowania przyrządów obróbczych i w miarę możliwości samodzielne zamocowanie przyrządu na obrabiarence,
- ustawiania punktów zerowych i wprowadzenie danych do pamięci OSN,
- wybór właściwego programu i ćwiczenie pracy w trybie automatycznym,
- samodzielne mocowanie detali,
- wykonywanie bieżącej kontroli wymiarów oraz korekty tych wymiarów w przypadku niezgodności z rysunkiem konstrukcyjnym.

Przewidywane efekty:

W wyniku szkolenia słuchacz powinien posiadać umiejętność:

- posługiwania się dokumentacją techniczną (rysunkiem konstrukcyjnym, procesem technologicznym, tabulogramem obróbki),
- montażu, pomiaru i opisu narzędzi skrawających oraz określenia zużycia narzędzi i doboru właściwego czasu ich wymiany,
- mocowania detali i przyrządów obróbczych oraz ustawiania punktów zerowych,
- wyboru właściwego programu i jego testowanie,
- pracy w trybie automatycznym,
- bieżącej kontroli procesu technologicznego, dokonywania korekty programu w przypadku

stwierdzenia niezgodności rysunkowych oraz zapobieganie powstawaniu braków.

C.1.3 Ekonomia obróbki w praktyce

Cele:

- praktyczne poznanie, jak na pracochłonność, a tym samym na koszt wykonania detalu wpływa sposób (technologia) jego wykonania.

Treści szkolenia:

- opracowanie procesu technologicznego prostego detalu wykonanego metodą klasycznej obróbki skrawaniem,
- opracowanie procesu technologicznego na ten sam detal z wykorzystaniem nowoczesnej metody obróbki,
- opracowanie programu obróbki tego detalu, testowanie i wykonanie detalu na obrabiarce,
- porównanie kosztów wykonania detalu wykonanego jedną i drugą metodą.

Przewidywane efekty:

W wyniku szkolenia uczestnik kursu powinien osiąść:

- wiedzę dotyczącą podstawowych składników kosztów mających wpływ na koszt wytworzenia detalu,
- umiejętność samodzielnego opracowania procesu technologicznego (włącznie z normowaniem),
- umiejętność samodzielnego korzystania z katalogów narzędzi, doboru narzędzi niezbędnych do wykonania procesu, oraz doboru parametrów obróbki,
- umiejętność napisania programu obróbki oraz jego testowania,
- umiejętność analizy kosztów wykonania.

C.2 WYCINARKI LASEROWE

C.2.1 Obsługa maszyny i realizacja procesu wycinania laserowego

Cele:

- zapoznanie słuchaczy z analizą dokumentacji technologicznej,
- zapoznanie słuchaczy z możliwościami i podstawami obsługi wycinarek laserowych do blach,
- zapoznanie słuchaczy z czynnościami kontroli wymiarów wg rysunku konstrukcyjnego oraz kontroli jakości powierzchni cięcia,
- zapoznanie słuchaczy z wykonywaniem podstawowych czynności konserwacyjnych.

Treści szkolenia:

- zasady przygotowania dokumentacji technologicznej (raport, program NC),
- wczytywanie programu do pamięci operacyjnej maszyny,
- kontrola poprawności ustawień (symulacja, parametry technologiczne),
- bezpieczne włączanie i wyłączenie wycinarki laserowej,
- dobór i uzbrajanie maszyny w odpowiednią głowicę oraz dokonywanie wstępnych ustawień,

- realizacja procesu wycinania (zakładanie arkusza blachy na stół wycinarki, wycięcie pierwszej sztuki, kontrola wymiarów i jakości powierzchni cięcia, wznowienie programu, wymiana palet,
- wykonywanie podstawowych czynności konserwacyjnych (czyszczenie wnętrza przestrzeni roboczej maszyny, wymiana filtrów z pyłem metalicznym, czyszczenie i wymiana listew na stole maszyny).

Przewidywane efekty:

W wyniku szkolenia uczestnik kursu powinien osiąść umiejętność:

- samodzielną realizację programu na podstawie dokumentacji technologicznej,
- przygotowania i wykonania prostego programu wycinającego detal,
- kontroli i korekty procesu cięcia,
- poznać i samodzielnego przygotowania maszyny do pracy,
- zrozumienie zasady bezpiecznej obsługi oraz podstawowe czynności konserwacyjne wycinarki laserowej.

C.3 PRASY KRAWĘDZIOWE STEROWANE NUMERYCZNIE

C.3.1 Obsługa krawędziarki

Cele:

- praktyczne zapoznanie się z obsługą krawędziarki i realizacją procesu gięcia na krawędziarce SN.

Treści szkolenia:

- bezpieczne włączanie i wyłączenie krawędziarki,
- dobór właściwych narzędzi (stempli i matryc) i ich mocowanie w maszynie,
- wykonanie detalu,
- kontrola wykonania detalu, wprowadzanie korekcy kąta gięcia i wysokości półek,
- wykonywanie podstawowych czynności konserwacyjnych.

Przewidywane efekty:

W wyniku szkolenia uczestnik kursu powinien osiąść umiejętność:

- analizy dokumentacji konstrukcyjno-technologicznej,
- umiejętność doboru narzędzi do realizacji programu,
- założenia narzędzi i ustawienia bariery laserowej (BHP),
- tworzenia i kontroli rozwinięć detali,
- kontroli detali i korekty procesu gięcia podczas wykonywania detalu,
- przeprowadzenia podstawowych czynności konserwacyjnych.

C.3.2 Realizacja procesu technologicznego na prasach krawędziowych

Cele:

- zapoznanie z dokumentacją konstrukcyjną, technologiczną oraz z przygotowaniem programu realizującego gięcie na krawędziarce SN.

Treści szkolenia:

- analiza dokumentacji konstrukcyjnej i technologicznej,
- dobór właściwych narzędzi (stempli i matryc) pod względem rodzaju i ilości,
- ustalanie kolejności gięć,
- opracowanie prostego programu gięcia na krawędziarce lub zewnętrznym komputerze,
- sprawdzanie rozwinięcia,
- symulacja procesu gięcia, sprawdzanie kolizji.

Przewidywane efekty

W wyniku szkolenia uczestnik kursu powinien osiąść umiejętność:

- przygotowania programu na podstawie dokumentacji konstrukcyjno–technologicznej,
- doboru narzędzi do realizacji programu,
- umiejętność przygotowania i wykonania prostego programu do gięcia detalu,
- kontroli i korekty procesu gięcia podczas symulacji komputerowej.

C.4. KONTROLA JAKOŚCI WYKONANIA**Cele:**

- zapoznanie się z zasadami doboru narzędzi pomiarowych, oraz praktyczne posługiwanie się tymi narzędziami.

Treści szkolenia:

- dobór właściwego sprzętu pomiarowego,
- posługiwanie się narzędziami pomiarowymi,
- praktyczna realizacja kontroli technicznej (wykonywanie pomiarów) w warunkach produkcyjnych.

Przewidywane efekty

W wyniku szkolenia uczestnik kursu powinien osiąść umiejętność:

- doboru właściwego sprzętu pomiarowego,
- posługiwania się narzędziami pomiarowymi,
- realizacji kontroli technicznej (wykonywanie pomiarów).

ROZDZIAŁ I. PODSTAWY TWORZENIA DOKUMENTACJI TECHNICZNEJ ORAZ MATERIAŁOZNAWSTWA

1. PODSTAWY TWORZENIA DOKUMENTACJI TECHNICZNEJ

1.1 Wymiarowanie

Rysunek techniczny maszynowy

Rysunek techniczny jest technicznym zapisem informacji konstrukcyjnych wszystkich elementów i zespołów wytworu. Dokumentacja konstrukcyjna wraz z dokumentacją technologiczną oraz instrukcjami czynności kontrolnych, transportowych, konserwacyjnych i naprawczych stanowią pełną dokumentację techniczną wyrobu. Bez tej dokumentacji niemożliwe jest uruchomienie procesu produkcyjnego.

Istotą opracowania jest zwrócenie uwagi na aspekty rysunku technicznego, które są istotne z punktu widzenia opracowania technologii wykonania części. Do podstawowych należą:

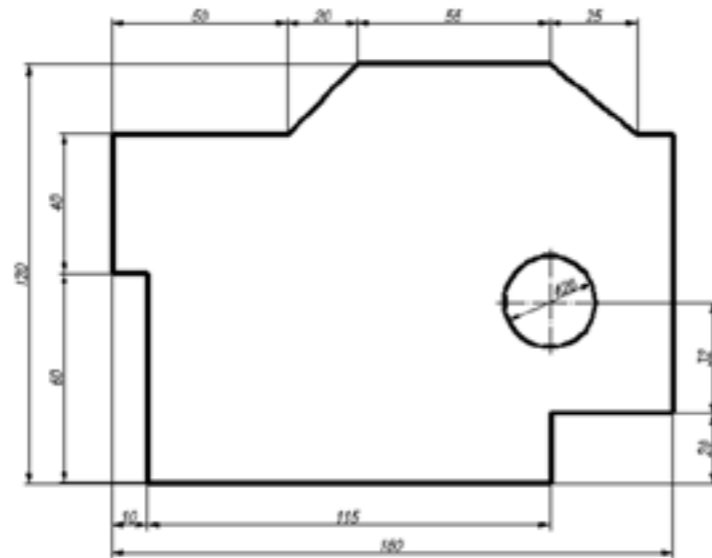
- wymiarowanie,
- tolerowanie wymiarów,
- tolerowanie kształtu i położenia,
- oznaczanie chropowatości i falistości powierzchni,
- obróbka cieplna,
- powłoki ochronne,
- gatunek materiału.

Sposoby wymiarowania:

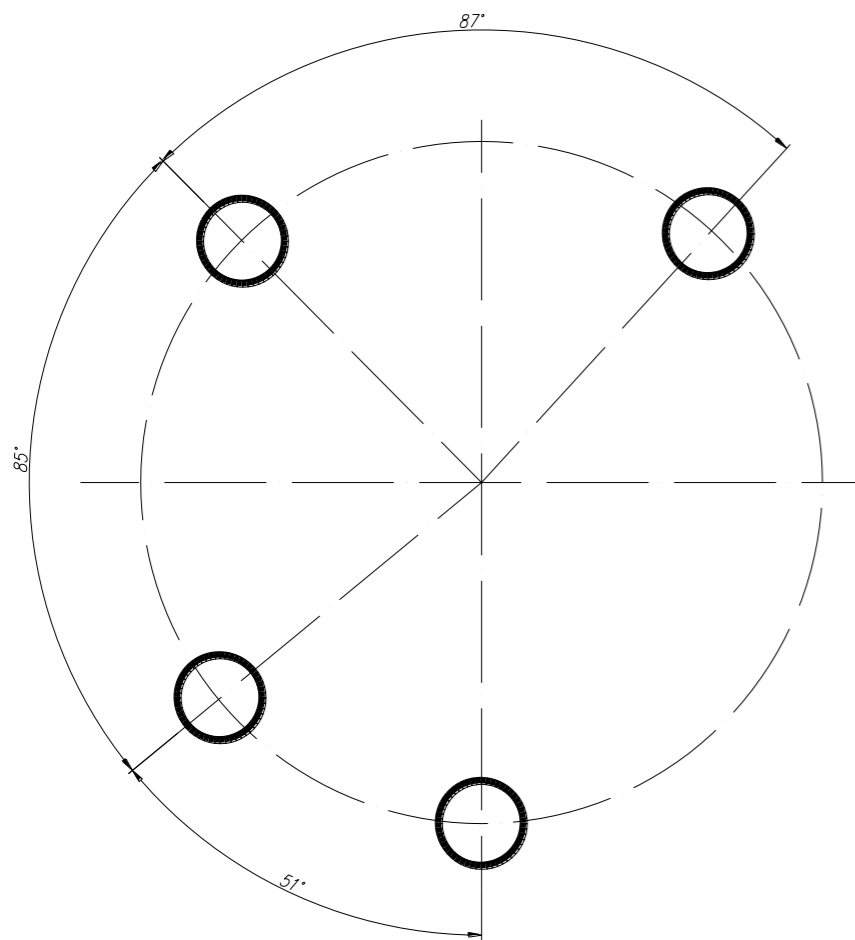
- wymiarowanie szeregowe (łańcuchowe),
- wymiarowanie w układzie równoległym (od bazy wymiarowej),
- wymiarowanie w układzie mieszanym.

Wymiarowanie w układzie szeregowym (łańcuchowym) polega na ustawieniu poszczególnych wymiarów składowych w łańcuchy wymiarowe, których nie wolno zamykać. Pozwala to na dokładne określenie zależności pomiędzy wybranymi powierzchniami przedmiotu niezależnie od bazy. Wymiarowanie to stosuje się do określenia położenia powierzchni części współpracujących z inną czy w przypadku obróbki przedmiotu zespołem narzędzi.

a)



b)

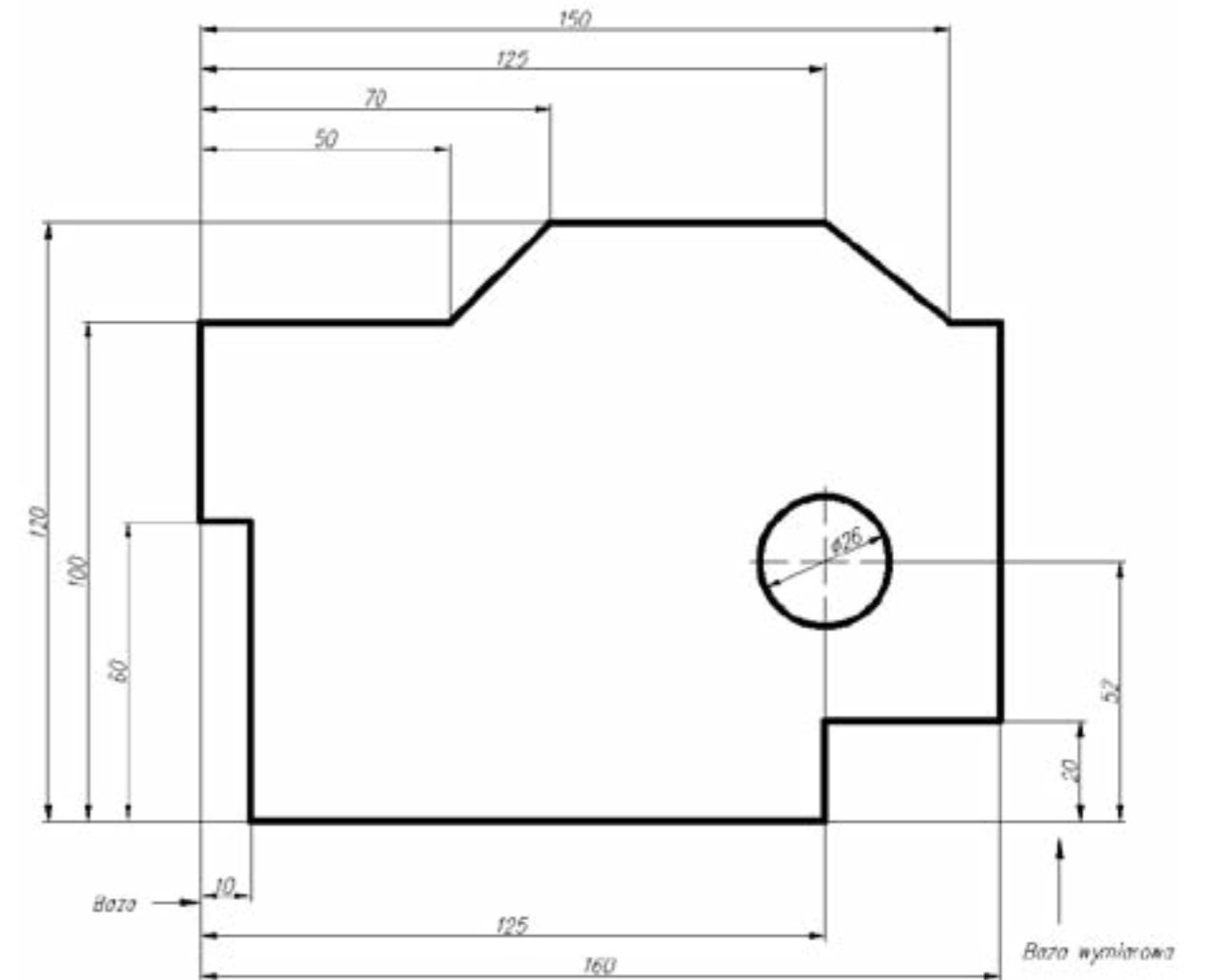


Wymiarowanie w układzie równoległym

Wymiarowanie od bazy wymiarowej polega na podawaniu (kreśleniu) wszystkich wymiarów równoległych od jednej wspólnej linii, krawędzi lub płaszczyzny. W płaskim układzie wymiarowym współrzędnych prostokątnych są dwie wzajemnie prostopadłe bazy wymiarowe. W przypadku skąplikowanych przedmiotów dopuszcza się zastosowanie kilka baz wymiarowych. Bazą nie może być linia kreślona pod kątem, jak również linia zakończona łukiem. Pamiętajmy również o podaniu wymiarów gabarytowych przedmiotu.

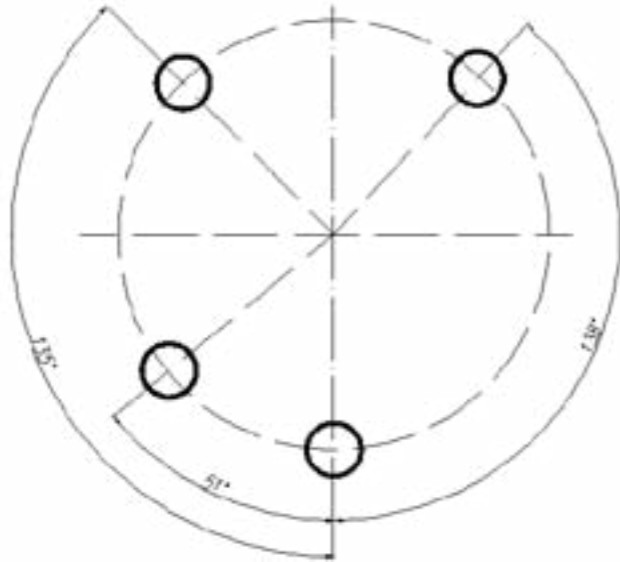
Wymiarowanie w układzie równoległym PN- ISO 129 określa jako **wymiarowanie od jednej bazy wymiarowej**. Ma ono zastosowanie do wymiarów liniowych i kątowych.

a)



Rys. 1.1. Wymiarowanie w układzie szeregowym (łańcuchowym), a) we współrzędnych prostokątnych, b) we współrzędnych biegunowych

b)

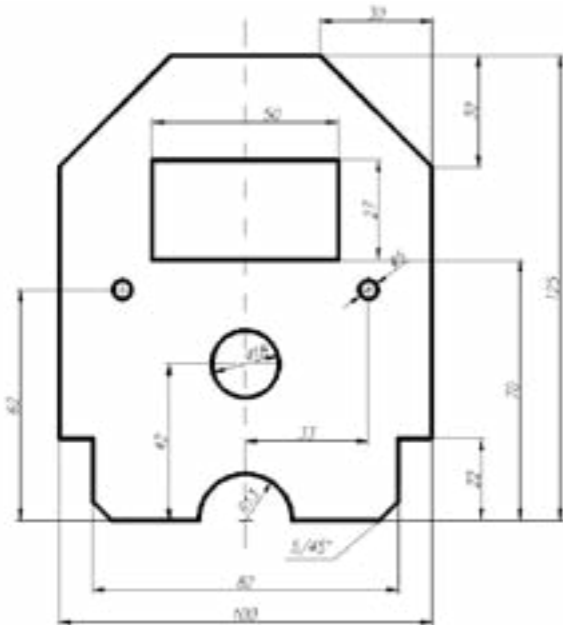


Rys. 1.2. Wymiarowanie w układzie równoległym: a) we współrzędnych prostokątnych, b) we współrzędnych biegunowych

Wymiarowanie w układzie mieszanym

Wymiarowanie mieszane jest połączeniem wymiarowania szeregowego i równoległego. Część wymiarów występuje tu w układzie szeregowym, a część w układzie równoległym. Jest najczęstszym sposobem wymiarowania w praktyce. Wymiary równoległe określają zazwyczaj położenie ważniejszych elementów geometrycznych przedmiotu, natomiast szeregowo – elementów drobniejszych, o drugorzędym znaczeniu (nie musi to być regułą).

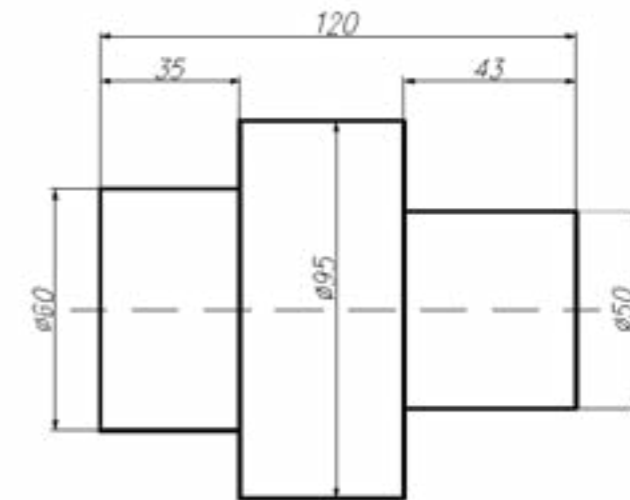
Wymiarowanie to wymaga kontroli nad ilością i rodzajem wykreślonych wymiarów. Bardzo często podczas takiego wymiarowania wykorzystujemy symetryczność przedmiotów lub symetryczność ich części.



Rys.1.3. Wymiarowanie w układzie mieszanym

W projektowaniu wykorzystuje się bazy o różnym charakterze. Zależy to od rodzaju elementu czy sposobu współpracy z innymi elementami w zespole. Można zatem stosować **bazy konstrukcyjne**, gdy istotne jest położenie danej części w zespole, gdy ma to wpływ na. położenie części w zespole, na wymagane luzy i wciski. Zaletą wymiarowania od baz konstrukcyjnych należą:

- krótkie łańcuchy wymiarowe ułatwiające analizę wymiarową całego zespołu i wyrobu oraz zwiększa dokładność wykonania części,
- niezmiennosc w znacznym stopniu rysunku części, gdyż zmiany technologii nie mają wpływu na wymiarowanie. Wadą wymiarowania od baz konstrukcyjnych jest oderwanie od technologii, co zmusza często w przygotowaniu produkcji do przeliczania wymiarów, zacieśniania tolerancji.



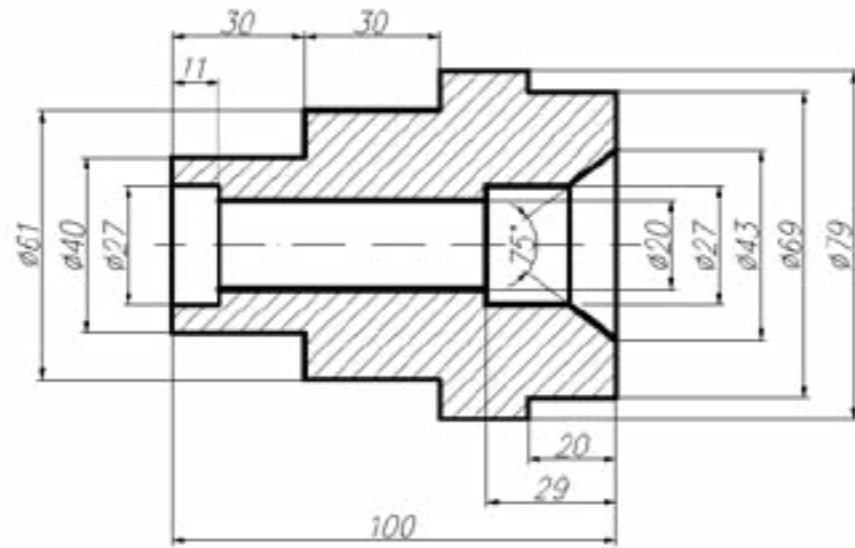
Rys.1.4. Wymiarowanie od baz konstrukcyjnych

Jeżeli przedmiot nie ma powierzchni ważniejszych od innych, to zwykle wymiaruje się go od dwóch końców, co często pokrywa się z wymiarowaniem od baz obróbkowych.

Wymiarowanie od baz obróbkowych stosuje się, gdy zależy przede wszystkim na uproszczeniu procesu technologicznego. Wymiarując od baz obróbkowych uzyskuje się:

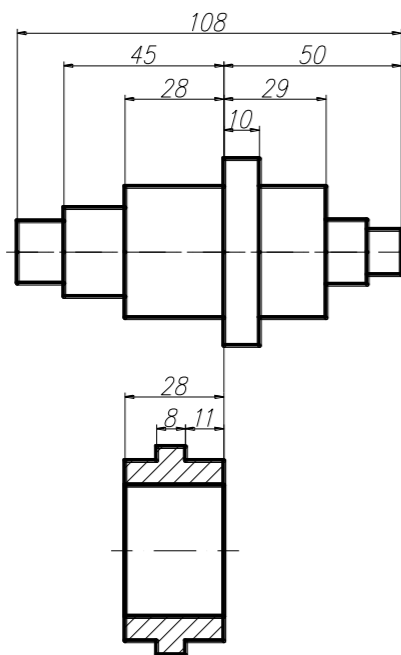
- łatwiejsze uzyskanie dokładnych wymiarów części obrabianej,
- możliwość zaplanowania przez technologa przebiegu obróbki bez potrzeby przeliczania wymiarów i zacieśniania tolerancji, dzięki czemu tolerancje wymiarów podane na rysunkach mogą być w pełni wykorzystane, co zmniejsza koszty produkcji,
- możliwość takiego ustawienia części do obróbki, że budowa uchwytów obróbkowych jest prostsza i tańsza.

Ponieważ bazy konstrukcyjne i obróbkowe często nie pokrywają się, w każdym przypadku niezgodności należy rozstrzygnąć czy wymiarować od których baz należy wymiarować. W praktyce jednak rzadko stosuje się wymiarowanie tylko od baz konstrukcyjnych lub tylko od baz obróbkowych. Zwykle podaje się wymiary najważniejsze (wchodzące w łańcuchy wymiarowe mechanizmów) od baz konstrukcyjnych i toleruje dokładnie, pozostałe zaś podaje się od baz obróbkowych, z większymi tolerancjami lub bez tolerancji. Sprawa upraszcza się, jeżeli bazy obróbkowe pokrywają się z konstrukcyjnymi. Przy wymiarowaniu od baz obróbkowych wymiary odnoszące się do jednej operacji należy, w miarę możliwości, podawać na jednym rzucie i to grupując je po jednej stronie rzutu (rys. 1.4.).



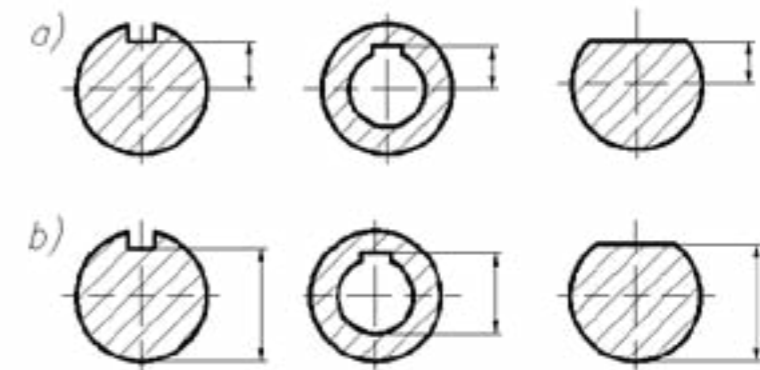
Rys.1.5. Wymiarowanie wg operacji obróbkowych

Na rysunkach części współpracujących za bazę wymiarową konstrukcyjną należy przyjmować powierzchnie styku tych części po zmontowaniu. Jest wymiarowanie od wspólnych baz wymiarowych.



Rys. 1.6 Wymiarowanie części współpracujących od wspólnej bazy wymiarowej

Wymiarowania od baz wyobraźalnych należy unikać, gdyż utrudnia ono przede wszystkim dokonywanie pomiarów i komplikuje sam proces obróbczy. Należy zastępować go wymiarowaniem od baz powierzchni przedmiotu, czyli od baz rzeczywistych, jak na rys. nr 1.6.b).



Rys.1.7. Wymiarowanie przedmiotów a) od baz wyobraźalnych, b) od baz rzeczywistych

1.2 Tolerowanie wymiarów

Pojęcia podstawowe.

Wymiar nominalny – wymiar względem którego odnosi się odchyłki.

Ze względu na żadaną dokładność wykonania wymiary dzieli się na:

- swobodne**, tj. takie, których rzeczywista wartość nie odgrywa większej roli; dla takich wymiarów nie podaje się tolerancji,
- tolerowane**, których rzeczywista wartość musi się zawierać w określonych granicach tolerancji,
- teoretyczne**, dla których nie przewiduje się żadnych odchyłek; są to zwykle wymiary potrzebne do obliczania wymiarów narzędzi, sprawdzianów lub uchwytów.

Każdy wymiar stolerowany ma określone dwa wymiary graniczne: wymiar górny B oraz wymiar dolny A. Pomiędzy tymi wymiarami musi się znaleźć wymiar rzeczywisty.

Różnica między górnym, a dolnym wymiarem nazywa się tolerancją T.

$$T = B - A$$

B – górny wymiar graniczny

A – dolny wymiar graniczny

Odchyłka górna dla otworu ES lub es dla wałka przedstawia się wzorem:

$$ES = B - N$$

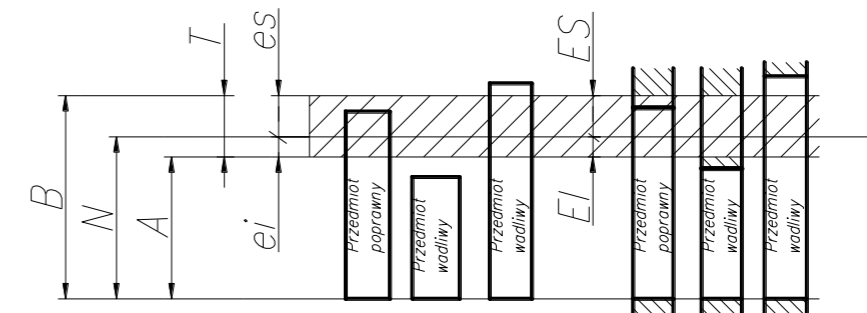
$$es = B - N$$

Odchyłka dolna EI otworu lub wałka ei przedstawia się wzorem:

$$EI = A - N$$

$$ei = A - N$$

Odchyłki przyjmują wartości dodatnie, ujemne lub równe 0.



Rys. 1.8 Wymiary: nominalny i graniczne, tolerancja wymiaru i odchyłki

Tolerancja wymiaru

Znormalizowane wartości tolerancji zgodnie z PN-EN-20286-2:1996 (dla wymiarów nominalnych do 3150 mm) i PN-91/M-02106 (zakres od 3150 mm do 1000 mm) stanowią układ tolerancji.

Zakres wymiarów nominalnych do 3150 mm jest podzielony na 21 przedziałów.

W określonym przedziale wymiarów nominalnych tolerancja normalna (symbol IT) lub odchyłka podstawowa jest wartością stałą.

W symbolowym oznaczaniu tolerancji wymiaru położenie pola tolerancji względem wymiaru nominalnego oznacza się literami, przy czym duże litery dotyczą wymiarów wewnętrznych (otworów), a litery małe odnoszą się do wymiarów zewnętrznych (wałków).

Przyjmuje się zasadę, że litery z początku alfabetu sytuują pole tolerancji w głąb materiału w stosunku do wymiaru nominalnego (N), a litery z końca alfabetu sytuują pole tolerancji na zewnątrz materiału w stosunku do wymiaru nominalnego (N).

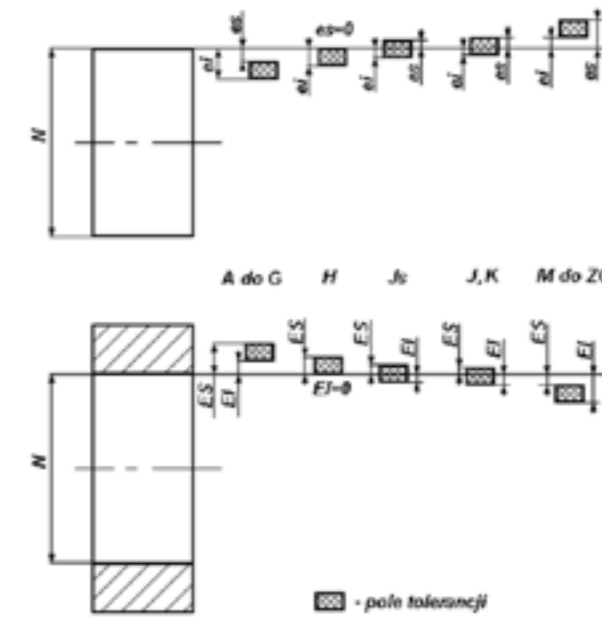
W przypadku wymiarów wewnętrznych (otworów):

- pola tolerancji oznaczane literami od **A** do **G** są usytuowane w ten sposób, że każdy wymiar rzeczywisty z tych pól tolerancji będzie zawsze większy od nominalnego wymiaru wewnętrznego (otworu),
- pole tolerancji oznaczone literą **H** jest usytuowane w ten sposób, że każdy wymiar rzeczywisty z tego pola tolerancji będzie zawsze większy lub równy wewnętrznemu wymiarowi (otwór) nominalnemu (N),
- pole tolerancji oznaczone literami **JS** jest dzielone przez wymiar nominalny na połowę,
- pola tolerancji **J** i **K** są usytuowane w ten sposób, że wymiar rzeczywisty z tych pól tolerancji może być większy lub mniejszy od nominalnego wymiaru wewnętrznego (otworu),
- pola tolerancji od **M** do **Z** oraz **ZA**, **ZB** i **ZC** są usytuowane w ten sposób, że wymiar rzeczywisty z zakresu tych pól tolerancji będzie zawsze mniejszy od nominalnego wymiaru wewnętrznego (otworu).

W przypadku wymiarów zewnętrznych (wałków) sytuacja jest odwrotna:

- pola tolerancji oznaczane literami od **a** do **g** są usytuowane w ten sposób, że każdy wymiar rzeczywisty z tych pól tolerancji będzie zawsze mniejszy od nominalnego wymiaru zewnętrznego (wałka),
- pole tolerancji oznaczone literą **h** jest usytuowane w ten sposób, że każdy wymiar rzeczywisty z tego pola tolerancji będzie zawsze mniejszy lub równy zewnętrznemu wymiarowi (wałek) nominalnemu (N),
- pole tolerancji oznaczone literami **js** jest dzielone przez wymiar nominalny na połowę,
- pola tolerancji **j** i **k** są usytuowane w ten sposób, że wymiar rzeczywisty z tych pól tolerancji może być większy lub mniejszy od nominalnego wymiaru zewnętrznego (wałka),
- pola tolerancji od **m** do **z** oraz **za**, **zb** i **zc** są usytuowane w ten sposób, że wymiar rzeczywisty z tych pól tolerancji będzie zawsze większy od nominalnego wymiaru zewnętrznego (wałka).

Powyższy opis symbolowego oznaczania pól tolerancji zobrazowano na rys. 1.9



Rys. 1.9 Położenie pól tolerancji względem wymiaru nominalnego dla wałów i otworów

1.3 Tolerancja kształtu

Tolerancje kształtu i położenia powierzchni części podaje się na rysunkach według zasad określonych w normie PN-87/M-01145. Wartości liczbowe tolerancji zaleca się przyjmować z tablic zawartych w normie PN-80/M-02138. Oznaczenie tolerancji składa się ze znaku określonej tolerancji oraz wartości liczbowej podanej w mm.

Tolerancja kształtu – maksymalna dopuszczalna odchyłka rzeczywistego kształtu od jego idealnego, prawidłowego odpowiednika.

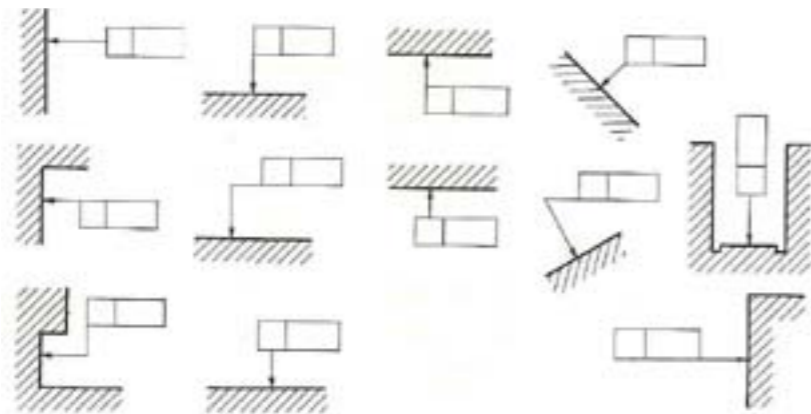
Tolerancja położenia – dotyczy dwóch elementów: elementu tolerowanego i elementu odniesienia (bazy).

Tolerancje złożone położenia i kształtu – wypadkowa odchyłki kształtu powierzchni lub linii przedmiotu i jej odchyłki położenia względem określonych elementów odniesienia. Spośród wielu tolerancji złożonych najczęściej spotyka się tolerancje bicia promieniowego i wzdłużnego.

Tabela Rodzaje tolerancji

	Rodzaj tolerancji	Znak
Tolerancje kształtu	Tolerancja prostoliniowości	—
	Tolerancja płaskości	▭
	Tolerancja okrągłości	○
	Tolerancja walcowości	⊘
	Tolerancja zarysu przekroju wzdłużnego	≡

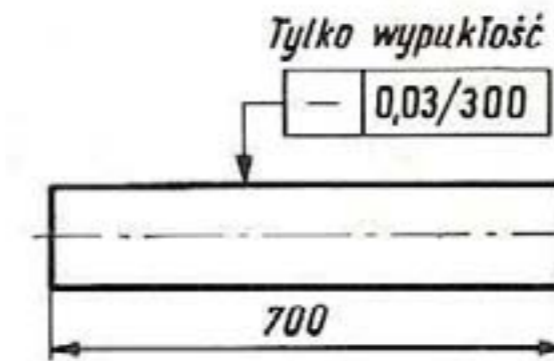
Tolerancje położenia	Tolerancja równoległości	
	Tolerancja prostopadłości	
	Tolerancja nachylenia	
	Tolerancja współosiowości	
	Tolerancja symetrii	
	Tolerancja pozycji	
	Tolerancja przecinania się osi	X
Tolerancje złożone położenia i kształtu	Tolerancja bicia promieniowego	
	Tolerancja bicia osiowego	
	Tolerancja bicia w wyznaczonym kierunku	
	Tolerancja bicia promieniowego całkowitego	
	Tolerancja bicia osiowego całkowitego	
	Tolerancja kształtu wyznaczonego zarysu	
	Tolerancja kształtu wyznaczonej powierzchni	



Rys.1.8 Sposoby umieszczania ramek oznaczeń względem tolerowanych elementów przedmiotów

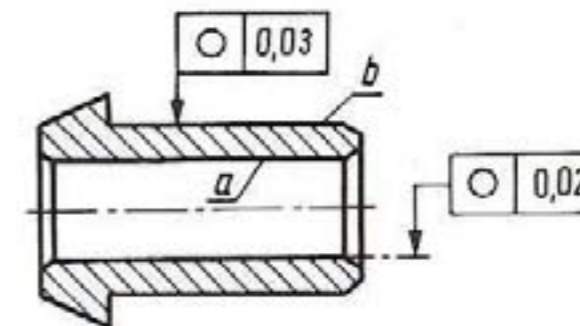
Przykłady oznaczania tolerancji kształtu

Tolerancja prostoliniowości tworzących i osi powierzchni obrotowych.



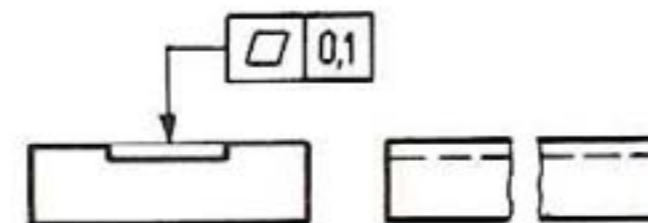
Rys.1.9 Przykład oznaczania tolerancji prostoliniowości tworzących i osi powierzchni obrotowych

Odchyłka prostoliniowości rzeczywistej tworzącej walca nie może przekroczyć 0.3 mm na długości 300 mm w dowolnym miejscu całej długości walca, przy czym może on mieć kształt tylko walcowy lub lekko beczułkowaty, a nie wklęsły.

Tolerancja okrągłości

Rys 1.10 Przykład oznaczania tolerancji okrągłości

Odchyłka okrągłości zarysu rzeczywistej powierzchni walcowych **a** i **b** nie może przekroczyć 0.02 i 0.03mm w dowolnym przekroju prostopadłym do osi, na całej długości każdej z powierzchni (zarys powierzchni w dowolnym przekroju musi się znaleźć między dwoma współśrodkowymi okręgami, odległymi od siebie o wartość tolerancji).

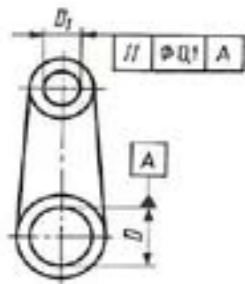
Tolerancja płaskości

Rys 1.11 Przykład oznaczania tolerancji płaskości

Odchyłka płaskości wspólnej płaszczyzny nie może przekroczyć 0.1mm we wszystkich kierunkach i na całej płaszczyźnie (rzeczywisty kształt obu płaszczyzn cząstkowych musi się zawierać między dwiema poziomymi płaszczyznami odległymi od siebie o 0.1mm).

1.4 Tolerancje położenia

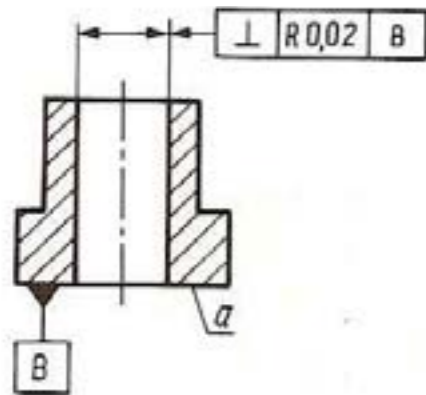
Tolerancja równoległości dwóch osi



Rys. 1.12 Przykład oznaczania tolerancji równoległości dwóch osi

Odchyłka równoległości osi otworu I względem osi otworu II nie może przekroczyć w żadnym kierunku 0.1 mm (oś otworu I musi znaleźć się wewnątrz walca o średnicy 0.1mm i o osi równoległej do osi otworu II).

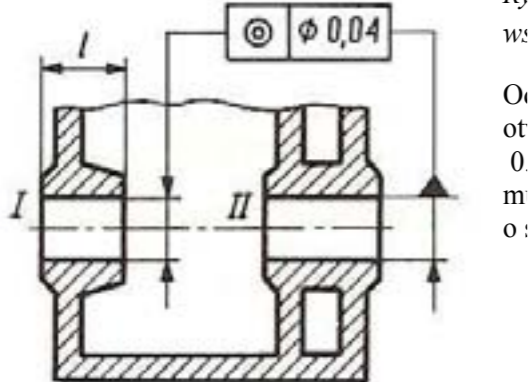
Tolerancja prostopadłości dwóch osi



Rys 1.13 Przykład oznaczania tolerancji prostopadłości dwóch osi

Odchyłka prostopadłości osi otworu względem bazy B nie może przekroczyć 0.04mm w żadnym kierunku i na całej długości otworu (oś rzeczywistego otworu musi się znaleźć wewnątrz walca o promieniu 0.02mm, którego oś jest prostopadła do płaszczyzny B).

Tolerancja współosiowości powierzchni

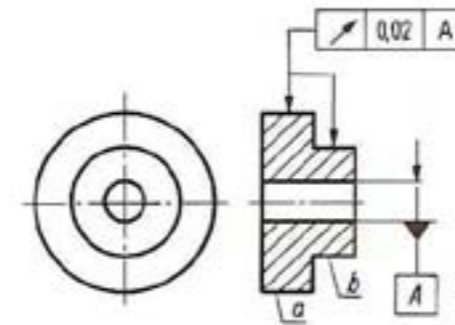


Rys.1.14 Przykład oznaczania tolerancji współosiowości powierzchni

Odchyłka współosiowości otworu I względem otworu II (bazy) nie może przekroczyć 0.04 mm na długości I (oś rzeczywistego otworu I musi się znaleźć wewnątrz walca o średnicy 0.04 mm, współosiowego z otworem II).

Przykłady tolerancji kształtu i położenia

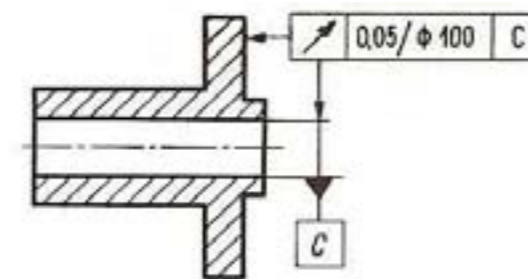
Tolerancja bicia poprzecznego



Rys.1.15 Przykład oznaczania tolerancji bicia poprzecznego

Bicie poprzeczne powierzchni a i b względem osi otworu nie może przekroczyć 0.02 mm (rzeczywisty zarys każdej z powierzchni – a i b – musi znaleźć się między dwoma okręgami współśrodkowymi z osią otworu A i oddalonymi od siebie o 0.02mm).

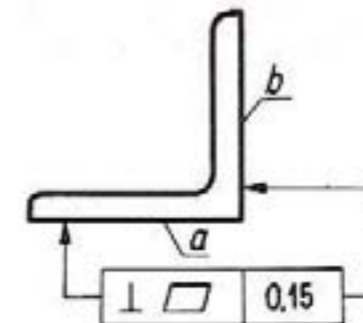
Tolerancja bicia wzdłużnego



Rys.1.16 Przykład oznaczania tolerancji bicia wzdłużnego

Bicie wzdłużne płaszczyzny kołnierza względem osi otworu (bazy), mierzone na średnicy 100mm, nie może przekroczyć 0.05mm (rzeczywisty zarys płaszczyzny powinien się znaleźć na powierzchni walca o średnicy 100mm, między dwiema płaszczyznami prostopadłymi do jego osi i oddalonymi od siebie o 0.05mm).

Tolerancja złożona prostopadłości i płaskości



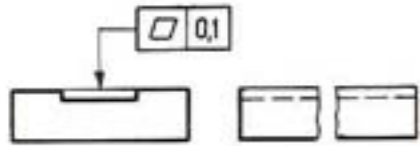
Rys.1.17 Przykład oznaczania tolerancji złożonej prostopadłości i płaskości

Sumaryczna odchyłka każdej z rzeczywistych powierzchni **a** i **b** nie może przekroczyć 0.15mm (każda z tych powierzchni musi się znaleźć między dwiema płaszczyznami prostopadłymi do drugiej powierzchni i oddalonymi od siebie o 0.15mm).

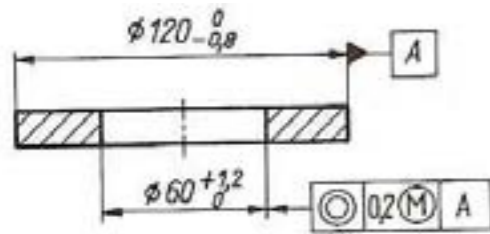
Tolerancja niezależna i zależna

Tolerancja niezależna – występuje wtedy, gdy jej wartość jest niezmienna, niezależnie od rzeczywistych wymiarów tolerowanego elementu przedmiotu i elementu odniesienia.

Tolerancja zależna – występuje wtedy, gdy jej wartość może się zmieniać, zależnie od rzeczywistych wymiarów tolerowanego elementu przedmiotu i elementu odniesienia. Znakiem tolerancji zależnej jest litera M w kółku.



Rys.1.18 Przykład oznaczania tolerancji niezależnej



Rys. 1.19 Przykład tolerancji zależnej

1.5 Geometryczna struktura powierzchni – chropowatość, falistość

Definicja chropowatości i falistości

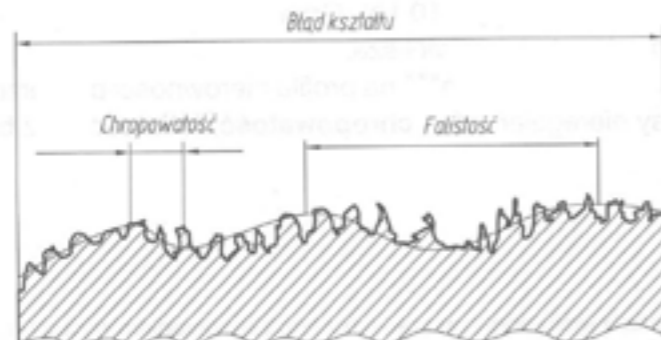
Chropowatość – elementy struktury geometrycznej powierzchni, uformowane w czasie procesu jej kształtowania, nie zawierające falistości i odchyłek kształtu.

Falistość – zbiór nierówności o charakterze przypadkowym lub zbliżonym do postaci okresowej, których odstępów znacznie przewyższają odstępów chropowatości.

Profile chropowatości i falistości różnią się przede wszystkim odstępami nierówności, czyli długością fali.

Przyjmując h jako amplitudę nierówności, s jako odległość między najbliższymi wzniesieniami to:

dla $s/h < 50$ – chropowatość, $50 < s/h < 1000$ – falistość, $s/h > 1000$ – błąd kształtu.



Rys.1.20 Sumaryczny obraz nierówności powierzchni i podział na klasy nieregularności– chropowatość, falistość, błąd kształtu

Parametry opisujące chropowatość

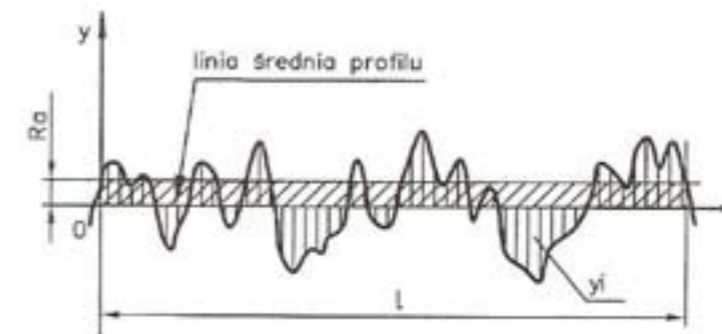
Parametry chropowatości dzieli się na:

- amplitudowe pomiary wysokości wzniesień i głębokości wgłębień w przekroju prostopadłym do powierzchni,
- amplitudowe pomiary w przekroju prostopadłym do powierzchni średniej wartości rzędnych,
- odległościowe (poziome) pomiary w przekroju równoległym do powierzchni,
- mieszane.

Norma PN – EN ISO 4287.1999 opisuje parametry wszystkich grup. Jest ich 14 rozpatrywanych w układzie 2D. Literatura przewiduje dodatkowo 24 parametry w układzie 3D, które nie są jeszcze znormalizowane w skali europejskiej. Brak również wyraźnych wskazań jakie parametry należy podawać na rysunku technicznym. PN – EN ISO 1302: 2004 dotycząca geometrycznej struktury powierzchni w dokumentacji technicznej wyrobu nie podaje żadnych rekomendacji dotyczących wyboru właściwego parametru. Ok. 10% firm stosuje parametr R_a , R_z – 80%, R_t – 60%, R_p – 30%.

Przykładowe najczęściej stosowane parametry zdefiniowano poniżej.

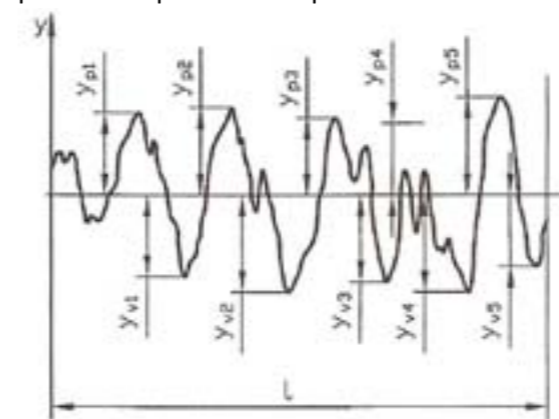
Parametr R_a – jest to średnia arytmetyczna wartość bezwzględnych odchyłek profilu y od linii średniej m , w przedziale odcinka elementarnego l .



$$R_a = \frac{1}{l} \int_0^l |y(x)| dx \approx \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i|$$

Rys1.21 Określanie parametru chropowatości R_a

Wysokość chropowatości wg 10 punktów R_z – jest to średnia arytmetyczna wartość bezwzględnych wysokości pięciu najwyższych wgłębień profilu chropowatości i głębokości pięciu najniższych wgłębień profilu chropowatości w przedziale odcinka elementarnego l .



$$R_z = \frac{1}{5} \left(\sum_{i=1}^5 |y_{pi}| + \sum_{i=1}^5 |y_{vi}| \right)$$

Rys.1.22 Określanie parametru chropowatości R_z

Ra	Rz	Ra	Rz	Ra	Rz	Ra	Rz
400	1600	20	80	1,25	6,3	0,063	0,32
320	1250	16	63	1	5	0,050	0,25
250	1000	12,5	50	0,8	4	0,040	0,20
200	800	10	40	0,63	3,2	0,032	0,16
160	630	8	32	0,5	2,5	0,025	0,125
125	500	6,3	25	0,4	2	0,020	0,100
100	400	5	20	0,32	1,6	0,016	0,080
80	320	4	16	0,25	1,25	0,012	0,063
63	250	3,2	12,5	0,2	1	0,010	0,050
50	200	2,5	10	0,16	0,80	0,008	0,040
40	160	2	-	0,125	0,63		0,032
32	125	-	8	0,1	0,50		0,025
25	100	1,6	-	0,08	0,40		

Wartości zalecane parametrów podano w ramkach

Tab.1 Wartości liczbowe parametrów chropowatości Ra i Rz [μm].

Parametr Rp – wysokość najwyższego wzniesienia ponad linię średnią.

Parametr Rv – głębokość najniższego obniżenia.

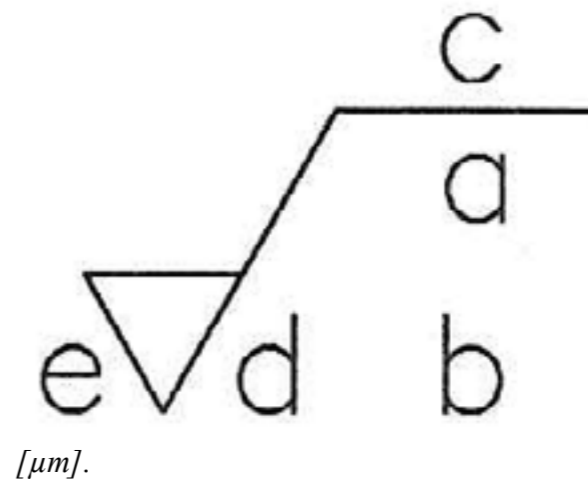
Parametr Rt – suma wysokości najwyższego wzniesienia profilu Rp i największego wgłębienia Rv wewnątrz odcinka pomiarowego.

1.6 Oznaczanie stanu powierzchni w dokumentacji technicznej wyrobu

Symbole graficzne i ich znaczenie

- ✓ • symbol ogólny, który nie określa żadnych wymagań dotyczących chropowatości powierzchni. Stosowany zazwyczaj do wskazania zbiorowego chropowatości,
- ✓ • wskazanie wymogu dotyczącego chropowatości powierzchni bez podania sposobu jej uzyskania,
- ✓ • wskazanie, że powierzchnia ma być wykonana jedną z technik ubytkowych, tzn. musi dojść do usunięcia warstwy materiału,
- ✓ • wskazanie, że powierzchnia nie może być wykonana technikami ubytkowymi, tzn. nie może dojść do usunięcia materiału,
- ✓ • wskazanie, że na całym obwodzie elementu wymagana jest ta sama struktura.

Znak chropowatości na rysunku technicznym wg PN- EN ISO 1302: 2004

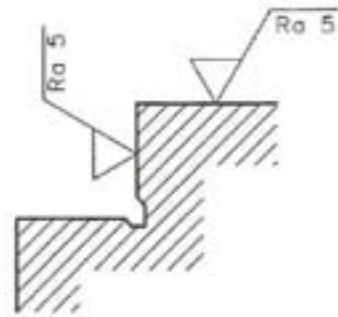


Rys 1.23 Budowa znaku chropowatości powierzchni, gdzie: **a** – wartość chropowatości w mm, np. Ra 0,8; **b** – inne wymagane wartości parametrów, np. Rz 4; **c** – specyficzne wymagania dotyczące wykonania powierzchni, np. obrabiać cieplnie; **d** – kierunkowość struktury geometrycznej powierzchni; **e** – wartość nadatku na obróbkę. Wszystkie parametry podawane są w mikrometrach [μm]

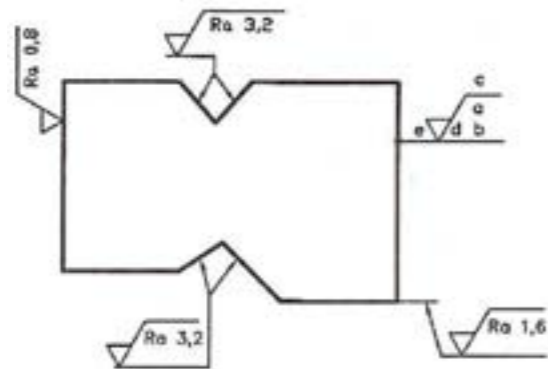
M	Wielokierunkowe ślady obróbki	
C	Ślady obróbki w przybliżeniu współśrodkowe względem środka powierzchni, dla której symbol jest stosowany	
R	Ślady obróbki w przybliżeniu promieniowe względem środka powierzchni, dla której symbol jest stosowany	
P	Ślady obróbki szczególne, tzn.: bez możliwości wyróżnienia kierunku lub punktowe	

Rys 1.24 Oznaczanie kierunkowości struktury geometrycznej

Zasady dotyczące oznaczeń chropowatości

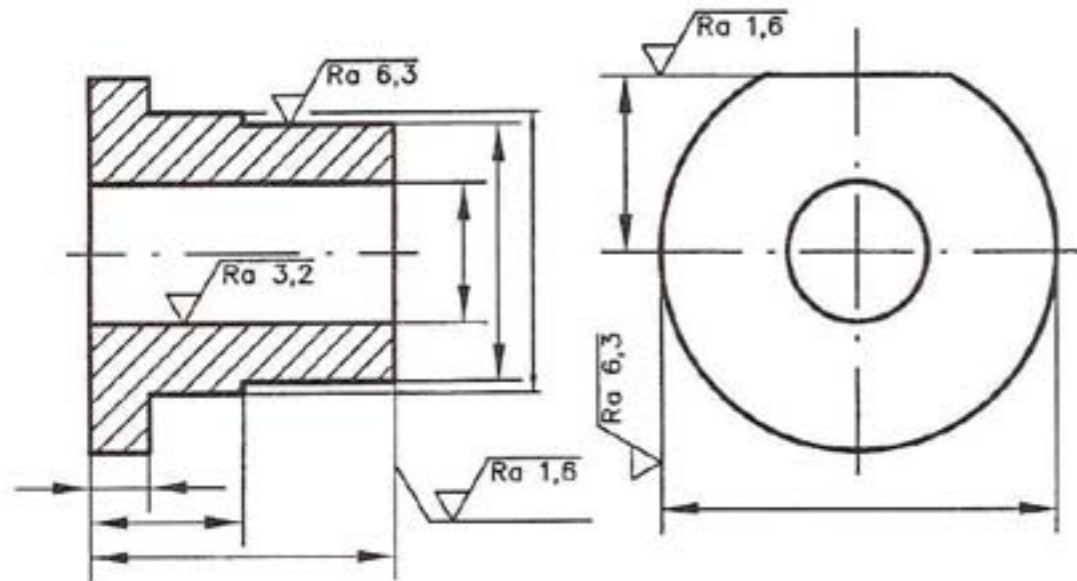


Rys 1.25 Symbol graficzny wraz z zapisami wymagań powinien być tak umieszczony, aby można go było czytać od dolnej lub prawej strony rysunku



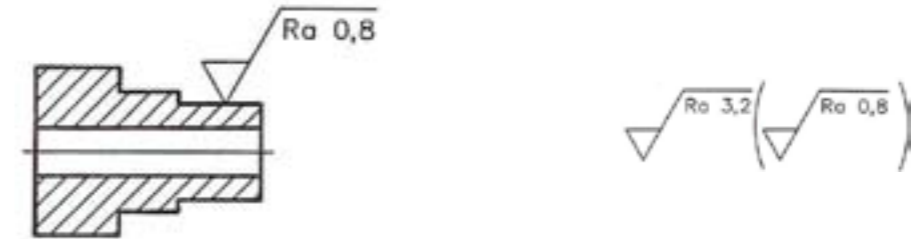
Rys 1.26 Jeżeli jest to konieczne, symbol graficzny lub linia odniesienia może się stykać z powierzchnią za pomocą linii odniesienia zakończonej strzałką

Symbol graficzny powinien być stosowany tylko jeden raz dla danej powierzchni, najlepiej na tym rzucie, na którym podawane są wielkości charakteryzujące tę powierzchnię.



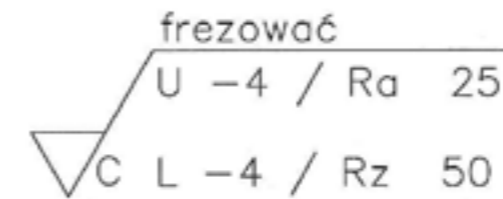
Rys. 1.27 Przykład zastosowania znaku chropowatości powierzchni

Gdy dla większości powierzchni jest wymagana taka sama struktura geometryczna, to podaje się ją tylko raz (nad tabliczką rysunkową). Wyjątki od tej struktury zaznaczone na rysunku – w celu podkreślenia, że takie istnieją – wymienia się za wskazaniem ogólnym w nawiasach zwykłych.

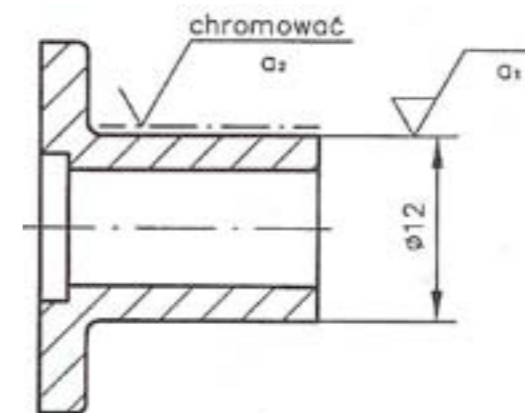


Rys. 1.28 Przykład zastosowania znaku chropowatości powierzchni

Jeżeli w oznaczeniach podano jedną wartość parametru opisującego chropowatość, to przyjmuje się ją jako górną granicę tego parametru. Jeżeli istnieje potrzeba podania również granicy dolnej, to umieszcza się ją pod granicą górną. Aby uniknąć pomyłek z parametrem b opisu struktury, zaleca tu się podawanie liter U (upper) i L (lower), oznaczających odpowiednio granicę górną i dolną.



Rys. 1.29 Przykład zastosowania znaku chropowatości powierzchni



Rys. 1.30 Przykład zastosowania znaku chropowatości powierzchni. wartości liczbowe chropowatości odnoszą się do struktury geometrycznej powierzchni po obróbce cieplnej lub pokryciu. W przypadku konieczności określenia chropowatości przed i po obróbce, należy to wykonać jak na rysunku poniżej

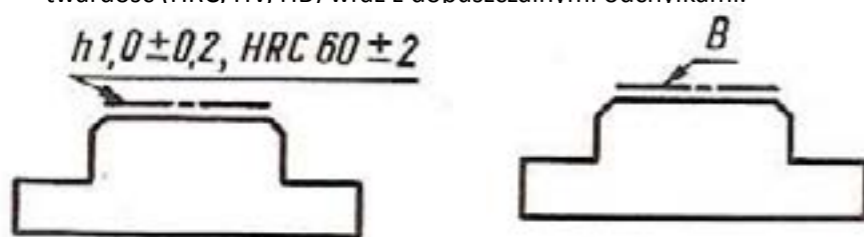
Klasa dokładności wymiaru	Parametr Ra chropowatości dla powierzchni części klasy		Klasa dokładności wymiaru	Parametr Ra chropowatości dla powierzchni części klasy	
	walek	otwór		walek	otwór
01	-	-	9	5 - 0,63	5 - 0,63
0	-	-	10	10 - 0,63	10 - 1,25
1	0,32 - 0,02	0,63 - 0,02	11	10 - 1,25	10 - 1,25
2	0,32 - 0,04	0,63 - 0,04	12	20 - 2,5	40 - 2,5
3	0,63 - 0,04	0,63 - 0,08	13	40 - 5	40 - 5
4	0,63 - 0,08	0,63 - 0,08	14	40 - 10	40 - 10
5	1,25 - 0,08	1,25 - 0,08	15	80 - 10	80 - 10
6	1,25 - 0,16	1,25 - 0,16	16	80 - 20	80 - 20
7	2,5 - 0,16	2,5 - 0,32	17	-	-
8	5 - 0,32	5 - 0,32	18	-	-

Tab. 2 Przybliżona zależność między klasą dokładności wykonania a chropowatością powierzchni Ra.

1.7 Oznaczenie obróbki cieplnej

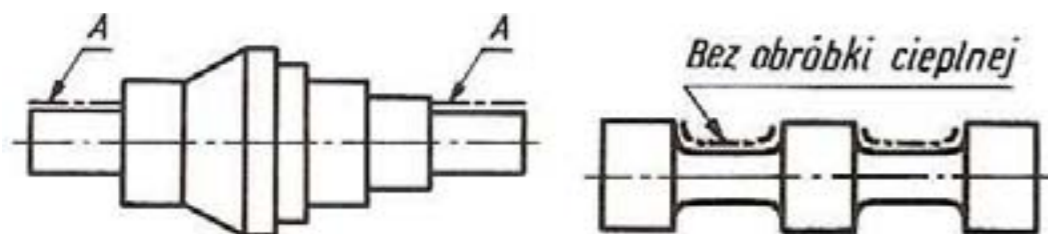
Przy oznaczaniu obróbki cieplnej przedmiotów, na rysunkach należy podawać wymagania dotyczące własności materiału po obróbce cieplnej (twardość materiału, wytrzymałość na rozciąganie itp.), w kolejności:

- nazwa rodzaju obróbki cieplnej,
- głębokość h warstwy utwardzonej wraz z dopuszczalnymi odchyłkami,
- twardość (HRC, HV, HB) wraz z dopuszczalnymi odchyłkami.



Rys. 1.31 Przykład, gdy jedna powierzchnia ma być poddana obróbce cieplnej

Powierzchnię zaznacza się linią punktową grubą w odległości ok. 2 grubości zarysu (ale nie mniej niż 0,8 mm) i nad doprowadzającą do niej linią odniesienia wpisuje się dane dotyczące obróbki cieplnej (a) lub wielką literę, której znaczenie wyjaśnia się w wymaganiach technicznych (b).



Rys. 1.32 Przykład, gdy kilka powierzchni ma podlegać jednakowej obróbce cieplnej

Stosuje się tu dwa rozwiązania:

- gdy te powierzchnie stanowią mniejszość w porównaniu z pozostałymi, to opisuje się je bezpośrednio poprzez zapis lub literę (a),
- gdy te powierzchnie stanowią większość, to obróbkę cieplną opisuje się w wymaganiach technicznych, a na rysunku oznacza się pozostałe powierzchnie (b).

2. PODSTAWY MATERIAŁOZNASTWA

OKREŚLENIE STALI

Stal jest plastycznie i cieplnie obrabialnym stopem żelaza z węglem i innymi pierwiastkami, otrzymywanym w procesach stalowniczych ze stanu ciekłego. Stal może zawierać do 2% węgla; powyżej tej wartości występuje żeliwo.

2.1 Kryteria klasyfikacji stali PN-EN 10020: 2003

Tablica 1. Kryteria klasyfikacji stali wg PN – EN 10020: 2003.

Kryterium podziału	Przykładowe rodzaje i grupy stali.
Skład chemiczny	Niestopowa, stopowa.
Podstawowe zastosowanie	Konstrukcyjna, maszynowa, narzędziowa, o szczególnych własnościach.
Jakość (m.in. stężenie Si P)	Jakościowa, specjalna.
Sposób wytwarzania	Martenowska, elektryczna, konwertorowa itp.
Sposób odtleniania	Uspokojona, półuspokojona, nieuspokojona.
Rodzaj produktów	Blachy, pręty, druty, odkuwki, taśmy, bednarki itp.
Postać	Lana, kuta, walcowana na gorąco, walcowana na zimno, ciągniona.
Stan kwalifikacyjny	Surowy, wyżarzony normalizująco, ulepszony cieplnie i inne.

2.2 Klasy jakości stali niestopowych

Stale niestopowe ze względu na klasy dzielimy na:

- **jakościowe** – te wszystkie, które nie zaliczają się do stali specjalnych,
- **specjalne** – to takie, które spełniają jeden lub więcej z podanych warunków:
 - wymagana praca łamania w stanie ulepszonym cieplnie,
 - wymagana głębokość utwardzania powierzchniowego lub twardość powierzchni po hartowaniu,
 - niski udział wtrąceń niemetalicznych,
 - max stężenie fosforu i siarki $\leq 0,020\%$,
 - min praca łamania w -50°C : $KV \geq 27\text{J}$ określona na próbkach wzdłużnych lub $\geq 16\text{J}$ na próbkach poprzecznych,
 - przewodność elektryczna właściwa $> 9\text{ S} \cdot \text{m}/\text{mm}^2$.

2.3 Klasy jakości stali stopowych

Ze względu na klasy jakości stale stopowe dzielimy na:

- **stale stopowe jakościowe**,
- **stale stopowe specjalne** – obejmują one wszystkie gatunki stali, które nie zostały ujęte w klasie stali nierdzewnych oraz stopach jakościowych.

Wyróżnia się następujące grupy stali stopowych jakościowych:

- stale konstrukcyjne spawalne,
- stale stopowe na szyny, grodzice, kształtowniki,
- stale stopowe na produkty płaskie walcowane na zimno lub na gorąco przeznaczone do dalszej obróbki plastycznej na zimno,
- stale elektrotechniczne,
- stale stopowe z miedzią.

Stale stopowe specjalne dzielą się na podklasy:

- stale maszynowe,
- stale na urządzenia ciśnieniowe,
- stale konstrukcyjne,
- stale szybko tnące,
- stale narzędziowe stopowe,
- stale na łożyska toczne,
- stale o szczególnych właściwościach fizycznych.

Stale stopowe nierdzewne – należą do nich stale zawierające co najmniej 10,5% Cr oraz co najwyżej 1,2%

C. Dzielą się na:

- stale odporne na korozję,
- stale żaroodporne,
- stale odporne na pełzanie (żarowytrzymałe).

2.4 Oznaczanie stali według norm europejskich

Zgodnie z Normami Europejskimi obowiązują dwa systemy oznaczania stali:

- **znakowy** (według PN– EN 10027– 1: 1994); znak stali składa się z symboli **literowych i cyfr**;
- **cyfrowy** (według PN– EN 10027– 2: 1994); numer składa się tylko z **cyfr**.

Każdy gatunek stali – ma nadany znak i numer, jednoznacznie identyfikujące tylko jeden materiał.

- **symbole w znaku** są tak dobrane, że wskazują na jej główne cechy (np. na zastosowanie, własności mechaniczne lub fizyczne lub skład chemiczny) co ułatwia przybliżoną identyfikację gatunku stali;
- **numer stali**, który można podawać zamiast znaku, jest łatwiejszy do elektronicznego przetwarzania danych, gdyż składa się tylko z pięciu cyfr.

Podany system oznaczeń stali wprowadzono w państwach UE od 1992 r.

2.5 Oznaczenie stali wg PN–EN 10027–1

W tej klasyfikacji oznaczeń stali wyróżnia się dwie główne grupy znaków:

- znaki zawierające symbole wskazujące na skład chemiczny stali,
- znaki zawierające symbole wskazujące na zastosowanie oraz mechaniczne lub fizyczne własności stali.

W obu grupach znaków – po symbolach głównych mogą być podawane symbole dodatkowe.

Poniżej podano jedynie, z jakich symboli głównych składa się znak stali. W przypadku staliwa – znak gatunku zawierający symbole wskazujące na skład chemiczny poprzedza **litera G**(np. **G30MnSi 5–3**).

2.6 Oznaczanie stali wg składu chemicznego

W znakach stali wg składu chemicznego wyróżnia się 4 podgrupy:

- **stale niestopowe** (bez stali automatowych) o średniej zawartości **Mn < 1%**. Znak tych stali składa się z następujących symboli głównych umieszczonych kolejno po sobie: **litery C i liczby** będącej **100** – **krotną** średnią wymaganą **zawartością węgla** (np. **C35**),
- **stale niestopowe o średniej zawartości manganu > 1%, niestopowe stale automatowe i stale stopowe** (bez stali szybko tnących) o zawartości każdego pierwiastka stopowego < 5%. Znak tych stali składa się z liczby będącej 100 – **krotną** wymaganą średnią zawartością węgla, symboli pierwiastków chemicznych składników stopowych w kolejności malejącej zawartości pierwiastków oraz liczb oznaczających zawartości poszczególnych pierwiastków stopowych w stali. Każda liczba oznacza odpowiednio średni procent zawartości pierwiastka pomnożony przez współczynnik wg poniższej tablicy i zaokrąglony do najbliższej liczby całkowitej. Liczby oznaczające zawartości poszczególnych pierwiastków stopowych należy oddzielić poziomą kreską; np. **55NiCrMoV6–2–2** jest znakiem stali o średnim składzie: 0,55% C, 1,5Ni, 0,6% Cr, 0,2% Mo, < 0,1% V.

Tablica1. Współczynnik ustalania symboli liczbowych pierwiastków stopowych przy oznaczaniu stali stopowych (bez stali szybko tnących) o zawartości każdego pierwiastka stopowego < 5% (PN– EN 10027– 1).

Pierwiastek	Współczynnik
Cr, Co, Mn, Si, W	4
Al., Be, Cu, Mo, Nb, Pb, Ta, Ti, V, Zr	10
Ce, N, P, S	100
B	1000

- **stale stopowe** (bez szybko tnących) zawierające przynajmniej jeden pierwiastek stopowy w ilości > 5%. Znak tych stali składa się z Litery X, liczby będącej 100 – **krotną** wymaganą średnią zawartością węgla, symboli chemicznych pierwiastków stopowych stali w kolejności malejącej zawartości oraz liczb (zaokrąglonych do najbliższej liczby całkowitej) oznaczających średni procent zawartości poszczególnych pierwiastków; np. **X5CrNiMo17–12–2** jest znakiem stali o składzie: max 0,07% C, 17,5% Cr, 11,6% Ni, 2,25%Mo,

- **stale szybko tnące**. Znak tych stali składa się z następujących symboli literowych i liczbowych: liter HS oraz liczb oznaczających procentowe zawartości (zaokrąglone do najbliższych liczb całkowitych) pierwiastków stopowych w następującej kolejności: wolfram, molibden, wanad, kobalt; np. HS 2–9–1–8 jest znakiem stali szybko tnącej o średniej zawartości pierwiastków stopowych: 2% W, 9% Mo, 1% V, 8% Co. Zawartość chromu w stalach szybko tnących nie jest podawana, gdyż jest we wszystkich gatunkach tych stali taka sama i wynosi 4,0 do 4,5%.

2.7 Oznaczenie stali wg zastosowania i własności

Znak stali – oznaczanych wg ich zastosowania i własności mechanicznych lub fizycznych zawiera następujące symbole:

- **S** – stale konstrukcyjne (np. S235),
- **P** – stale pracujące pod ciśnieniem (np. P 460),
- **L** – stal na rury przewodowe (np. L 360),
- **E** – stale maszynowe (np. E 295),

za którymi umieszcza się liczbę będącą minimalną granicą plastyczności w MPa.

- **B** – stale do zbrojenia betonu (np. B500) za którymi umieszcza się liczbę będącą charakterystyczną granicą plastyczności,
- **Y** – stale do betonu sprężonego (np. Y1770),
- **R** – stale na szyny lub w postaci szyn (np. R0900, za którymi umieszcza się liczbę będącą wymaganą minimalną wytrzymałością na rozciąganie,
- **H** – wyroby płaskie walcowane na zimno ze stali o podwyższonej wytrzymałości przeznaczone do kształtowania na zimno, za którymi umieszcza się liczbę będącą wymaganą minimalną granicą plastyczności, albo jeżeli jest wymagana tylko wytrzymałość na rozciąganie wtedy umieszcza się T, za którą podaje się wymaganą minimalną wytrzymałość na rozciąganie (np. H 420),
- **D** – wyroby płaskie ze stali miękkich przeznaczonych do kształtowania na zimno, za którym umieszcza się jedną z następujących liter:
 1. **C** – dla wyrobów walcowanych na zimno,
 2. **D** – dla wyrobów walcowanych na gorąco przeznaczonych do kształtowania na zimno,
 3. **X** – dla wyrobów bez charakterystyki walcowania (na zimno lub na gorąco) oraz dwa symbole cyfrowe lub literowe charakteryzujące stal (np. DC03).
- **T** – wyroby walcowni blachy ocynkowanej za którymi umieszcza się:
 1. dla wyrobów o jednokrotnie zredukowanej grubości – literę H, za którą podaje się liczbę będącą wymaganą nominalną twardością wg HR 30Tm,
 2. dla wyrobów o dwukrotnie zredukowanej grubości – liczbę będącą wymaganą nominalną granicą plastyczności (np. TH52, T660),
- **M** – stale elektrotechniczne, za którymi umieszcza się:
 1. liczbę będącą 100 – krotną wymaganą maksymalną stratnością w W·kg⁻¹,
 2. liczbę będącą 100 – krotną nominalną grubością wyrobu w mm,
 3. literę oznaczającą rodzaj blachy lub taśmy elektrotechnicznej, tj.: A, D, E, N, S lub P (np. M430–50D).

2.8 Oznaczenie stali wg PN–EN–10027–2

Zgodnie z normą PN – EN– 10027– 2: 1994– każdy gatunek stali jest oznaczony także numerem, który można podać zamiast znaku stali.

- numer stali zawiera 5 cyfr: **1.xxnn**, gdzie:

1 – oznacza stal (ogólniej stop żelaza); xx – dwie cyfry oznaczające grupę stali; nn – dwie wyróżniające

konkretny gatunek w grupie,

- np. 1.4301 – oznacza gatunek stali austenitycznej **X10CrNi18–8**.

Grupy stali – ustalono według składu chemicznego, własności mechanicznych, fizycznych i technologicznych oraz według zastosowania.

- na przykład:

- stale niestopowe jakościowe specjalne: 10 do 18,
- stale stopowe odporne na korozję i żaroodporne: 10 do 49,
- stale stopowe konstrukcyjne, maszynowe i na zbiorniki ciśnieniowe: 50 do 89.

Np. 1.3555 oznacza stal szybkotnącą SW18 (HS18–0–1).

Zestawienie porównawcze oznaczeń stali niestopowych wg PN i PN – EN.

PN	PN-EN
Ogólnego przeznaczenia	Stale konstrukcyjne
St0S	~S185
St3S	~S235
St4S	~S275
Do utwardzania powierzchniowego	Stal specjalna
10	C10E
15	C15E
20	C20E
Do ulepszenia cieplnego	Stal specjalna
25	C25
30	C30
35	C35
40	C40
45	C45
50	C50
50G	C50E
55	C55
60	C60
60G	C65E
PN	PN- EN
Narzędziowe głęboko hartujące się	Stal specjalna
N6	~CT70
N7	~CT70
N8	Nie wprowadzono
N9	~CT90
N10	~CT105
N11	~CT120
N12	~CT120

PN	PN-EN
Ogólnego przeznaczenia	Stale maszynowe
MSt5(St5)	~E295
MSt 6	~E335
MSt 7	~E360
Ogólnego przeznaczenia	Stale konstrukcyjne
St0S	~S185
St3S	~S235
St4S	~S275
Na resory	Stal specjalna
65	C67S (2CS65)
75	C75S (2CS75)
85	C85S (2CS85)
PN	PN-EN
Narzędziowe płytka hartujące się.	Stal specjalna
N7E	~CT7
N8E	nie wprowadzono
N79E	~CT90
N10E	~CT105
N11E	~CT120
N12E	~CT120

2.9 Żeliwa

Odlewnicze stopy żelaza z węglem i innymi dodatkami zawierające 2,06÷6,67 % C, najczęściej do 4,3%C nazywamy żeliwami. Wyróżnia się żeliwa:

- żeliwa niestopowe – szare, sferoidalne, białe, c,
- ciągliwe,
- żeliwo wermikularne np. GIV– 350,
- żeliwa stopowe – poprzez wprowadzenie odpowiednich pierwiastków stopowych uzyskuje się wymagane własności użytkowe.

Oznaczanie żeliwa na podstawie numerów według PN–EN–1560÷ 2001

Stosuje się dwa systemy oznaczania: symbolowy i cyfrowy. Oznaczenie może obejmować sześć pozycji, które mają następujące znaczenie:

- przedrostek EN – dla materiałów znormalizowanych,
- symbol GJ; litera G oznacza materiał odlewany, J – żeliwo,
- postać grafitu: L – płatkowy, S – kulkowy, V – wernikularny, M – żarzenia, N – brak grafitu, Y – specjalny,
- mikrostruktura osnowy: A – austenit, F – ferryt, P – perlit, M – martenzyt, L – ledeburyt, Q – stan po hartowaniu, T – stan po hartowaniu i odpuszczaniu, B – przełom czarny, W – przełom biały,
- klasyfikacja wg własności mechanicznych, podawanych za pomocą liczb oraz liter określających metodę wykonania wlewka próbnego: S – wlewek odlewany oddzielnie, U – przylany, c wzięty

z odlewu, przy czym wartości liczbowe mogą określać:

- min. wytrzymałość na rozciąganie Rm [MPa], np. EN – GJL – 150C,
- min. wytrzymałość na rozciąganie Rm [MPa] i min. Wydłużenie w % oddzielone kreskami np. EN– GJMW– 450–7S,
- wytrzymałość na rozciąganie Rm [MPa], wydłużenie i udarność w [J], przy czym za pomocą symbolu należy podać temperaturę, przy której badana udarność: RT – temp. Pokojowa, RL – temp. Niska, np. EN–GJS–400–18S–RT,
- twardość za pomocą symboli, określających metodę pomiaru, np. EN–GJL–HB155, EN–GJN–HV350,
- składu chemicznego za pomocą symbol X, po której podaje się odpowiednie symbole i liczby, które wyróżniają dwa rodzaje klasyfikacji:
 - bez podania wartości węgla: po symboli X podaje się symbole pierwiastków w kolejności malejącej oraz ich zawartości procentowe zaokrąglone do liczb całkowitych, oddzielone kreskami, np. EN– GJL– XNiMn13– 7,
 - z podaniem zawartości węgla, po symbolu X podaje się procentową zawartość węgla pomnożoną przez 100, a następnie symbole liczby jak poprzednio, EN– GJN–X300CrNiSi9–5–2,
- wymagania dodatkowe: D– odlew surowy, H– odlew po obróbce cieplnej, W– spawalność dla złączy spawanych, Z– wymagania dodatkowe podane przez zamawiającego.

EN – GJL – 150 (żeliwo szare, Rm min = 150 MPa)

EN – GJMW – 350 – 4 (żeliwo ciągliwe białe, Rmmin = 350MPa, A3,4– 4%)

EN – GJMB – 300 – 6 (żeliwo ciągliwe czarne, Rm min = 300MPa, A3,4 – 6%)

Zestawienie porównawcze oznaczeń żeliwa wg PPN i wg PN– EN.

Żeliwo szare

PN-92/H-83101	PN- EN 1561
Symbol	Znak
100	EN-GJL-100
150	EN-GJL-150
200	EN-GJL-200
250	EN- GJL- 250
300	EN- GJL- 300
350	EN- GJL- 350

Żeliwo sferoidalne

PN-92/H-83123	PN-EN1563
Symbol	Znak
350-22	EN-GJS-350-22
400-18	EN-GJS-400-18
400-15	EN-GJS-400-15
450-10	EN-GJS-450-10
500-7	EN-GJS-500-7
600-3	EN-GJS-600-3
700-2	EN-GJS-700-2
800-2	EN-GJS-800-2
900-2	EN-GJS-900-2

Żeliwo ciągliwe czarne

PN-92/H-83221	PN-EN 1562
Symbol	Znak
B 30-06	EN-GJMB-300-6
B 35-10	EN-GJMB-350-10
P 50-05	EN-GJMB-500-5
P 55-04	EN-GJMB-550-4
P 60-03	EN-GJMB-600-3
P 65- 02	EN-GJMB-650-2
P 70- 02	EN-GJMB-700-2
P 80- 01	EN- GJMB-800-1

Żeliwo ciągliwe białe

PN-92/H-83221	PN-EN 1562
Symbol	Znak
W 35-04	EN-GJMW-350-4
W 38- 12	EN-GJMW-360-12
W 40- 05	EN- GJMW-400-5
W 45- 07	EN-GJMW-450-7

3. ZASTOSOWANIE PROGRAMÓW KOMPUTEROWEGO WSPOMAGANIA PROJEKTOWANIA W TWORZENIU DOKUMENTACJI TECHNICZNEJ CAD/CAM

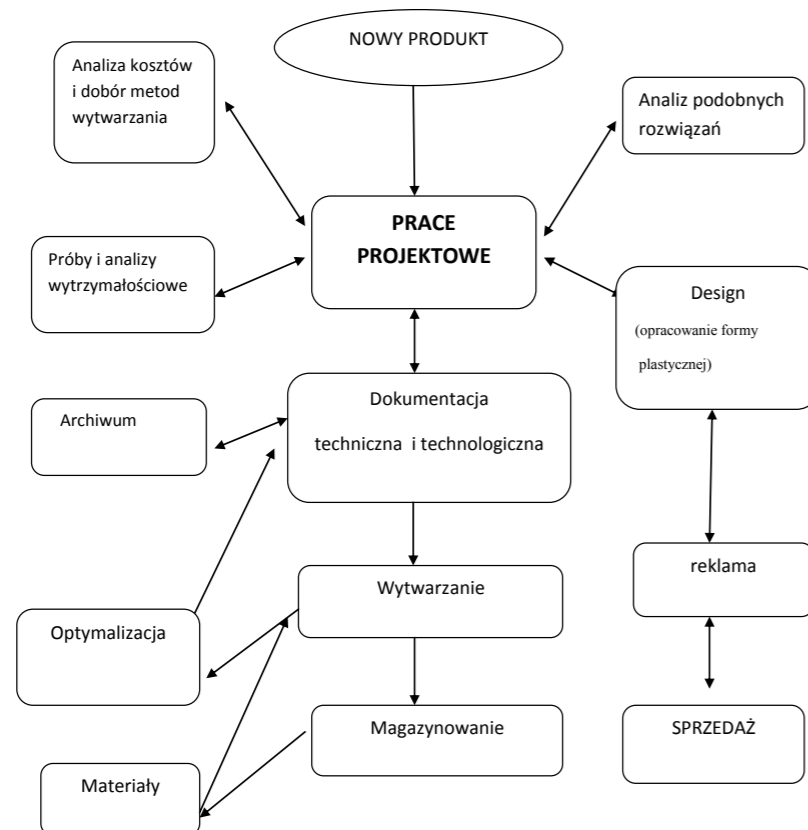
3.1 Współczesny proces projektowania i wytwarzania

Postęp rozwoju techniki komputerowej powoduje powstawanie coraz to doskonalszych systemów projektowania wspomaganego komputerowo, zwanych systemami CAD (z ang. *Computer Aided Design*). Systemy CAD umożliwiają tworzenie geometrii części maszyn – począwszy od prostych elementów, aż po złożone powierzchnie o podwójnych krzywiznach przestrzennych. Jednym z podstawowych efektów komputerowego wspomaganie konstruowania jest uzyskanie dokumentacji technicznej w postaci rysunków technicznych, które zawierają odpowiednie rzuty części, ich wymiary, odchyłki kształtu i położenia oraz warunki techniczne. Systemy CAD umożliwiają uzyskanie również rysunków złożeniowych z numerami i specyfikacją części oraz rysunków przestrzennych izometrycznych do wykorzystania podczas montażu. Tworzenie geometrii części nazywa się **modelowaniem**.

Opracowanie dokumentacji technicznej i technologicznej to podstawowe elementy procesu projektowania. Dokumentacja jest tworzona i modyfikowana w miarę postępu projektowania. Czas wykonania dokumentacji jest ograniczony. Uwzględnić należy konieczność wprowadzania bieżących zmian i poprawek, przeprowadzenie niezbędnych obliczeń oraz wykonanie egzemplarzy prototypowych i prób.

Bardzo dużą rolę podczas projektowania odgrywa wzornictwo przemysłowe, które polega na opracowaniu takiego wzoru użytkowego wyrobu, który zapewni jego konkurencyjność na rynku.

Dążenie do zminimalizowania czasów technologicznych i zoptymalizowania elementów procesu projektowo – produkcyjnego znalazło sprzymierzeńca w postaci programów CAD wspomagających prace projektanta.



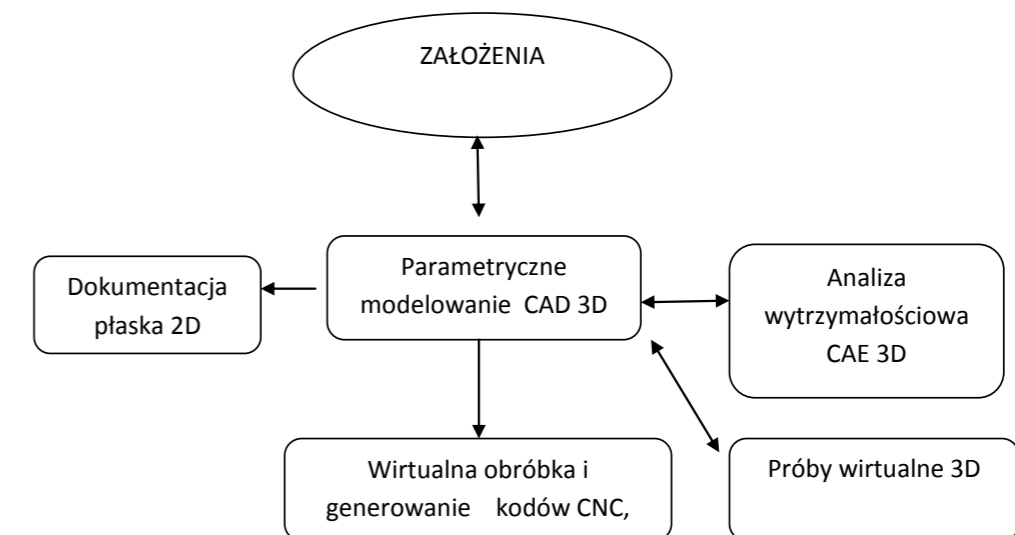
Rys.3.1 Schemat procesu projektowo – produkcyjnego

Programy te często tworzą spójne systemy określane skrótem **CAx** (CAD/CAM/CAE).

CAD – komputerowe wspomaganie projektowania – zapis modelu geometrycznego projektowanych zespołów w postaci elektronicznej i wykonania wydruków papierowych.

CAE – komputerowe wspomaganie obliczeń (ang. *Computer Aided Engineering*)– techniki wspomaganie prac inżynierskich w pierwszych fazach rozwoju produktu.

CAM – komputerowe wspomaganie wytwarzania (ang. *Computer Aided Manufacturing*)– to opracowanie i uruchamianie programów sterowania numerycznego maszyn technologicznych.



Rys.3.2 Algorytm procesu projektowania z zastosowaniem metod wspomaganie komputerowego

Różnice między tradycyjnymi metodami projektowania a metodami z wykorzystaniem wspomaganie komputerowego dotyczą czasu wykonania projektu, kosztów związanych z opracowaniem projektu seryjnego, a szczególnie zastosowania technik CAx.

Metody tradycyjne zawierają etap wykonania prototypu (wykonanie egzemplarzy niezbędnych do zrealizowania prób statycznych i dynamicznych), który ma potwierdzić założoną wytrzymałość i trwałość projektowanego wyrobu. Proces ten musi być kilkakrotnie powtarzany, aż do uzyskania wyników pozytywnych zgodnych z założeniami konstrukcyjnymi. Opracowanie dokumentacji seryjnej dla bardziej skomplikowanych wyrobów wymaga zaangażowania odpowiednio licznych zespołów konstrukcyjno – kreślarskich. Dokumentacja wykonana tradycyjnie, pomimo wielokrotnego sprawdzania, często zawiera błędy ujawniające się podczas uruchamiania produkcji seryjnej. Powoduje to znaczne zwiększenie kosztów produkcji.

Zastosowanie metod wspomaganie komputerowego ogranicza etap wykonania prototypu, a właściwie przenosi go do przestrzeni wirtualnej programów wspomaganie proces projektowania.

Wirtualny model, wykonany zgodnie z założeniami konstrukcyjnymi w skali rzeczywistej, poddaje się pełnej analizie statycznej, kinematycznej i funkcjonalnej. Można dowolnie optymalizować kształty, a nawet przeprowadzać symulacje, odpowiadające próbom na stanowiskach pomiarowych czy podczas eksploatacji. Zaprojektowany prototyp wyrobu jest bardzo zbliżony do produktu przeznaczony do produkcji seryjnej.

Metody projektowania z zastosowaniem technik CAx umożliwiają dużą obniżkę kosztów projektowania oraz

znaczne skrócenie czasu niezbędnego do przygotowania nowego projektu.

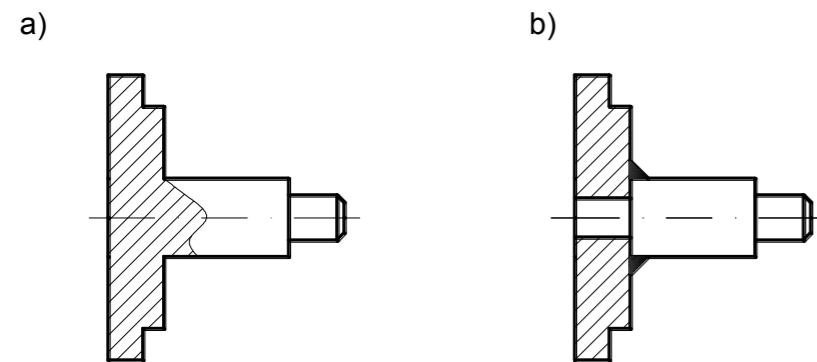
3.2 Optymalizacja konstrukcji i technologii

Optymalizacja polega na takich zmianach w konstrukcji i technologii wyrobu, w wyniku czego uzyskuje się:

- zmniejszenie zużycia materiałów,
- dostosowanie wyrobu do innych metod wytwarzania (zmniejszenie czasu obróbki jej kosztów),
- zwiększenie zakresu zastosowania znormalizowanych wyrobów gotowych,
- podwyższenie trwałości i niezawodności wyrobu.

Optymalizacji konstrukcji dokonuje się na etapie wprowadzania wyrobu do produkcji. Jej wyniki należy sprawdzić w zakresie wpływu na poprawną pracę konstrukcji i jej trwałość. Efektem prawidłowo przeprowadzonej optymalizacji jest obniżka kosztów wyrobu.

Zastosowanie technik CAx w procesie optymalizacji dotyczy głównie analizy naprężeń statycznych oraz zmęczeniowych projektowanych zespołów. Bardzo istotna dla procesu optymalizacji jest możliwość dokonywania szybkich zmian w projekcie już w trakcie wykonywania obliczeń.



Rys. 3.3 Przykład optymalizacji konstrukcji tarczy; a) konstrukcja monolityczna, b) konstrukcja spawana (ograniczenie ilości materiału „przerabianego na wióry”)

3.3 Charakterystyka systemów CAD

Istnieje wiele różnych systemów CAD, CAD/CAM i CAD/CAM/CAE, opracowanych przez specjalistyczne firmy. Systemy te mają inne formaty wejścia i wyjścia. Nie można więc wprost przenosić rezultatów uzyskanych w jednym systemie do innych systemów. Ponieważ konieczna jest wymiana informacji o komputerowym odwzorowaniu konstrukcji między systemami CAD różnych firm opracowano interfejsy, które umożliwiają przekazywanie struktury danych między systemami.

W systemach CAD istnieją tzw. rzutnie wielowarstwowe (z ang. *Layers*), które umożliwiają określanie widoczności i wybór obiektów, tworzących aktualnie wymaganą część konstrukcyjną. Obiektami mogą być: bryły, krzywe, płaszczyzny, osie konstrukcyjne. Rysunek może być dzielony na grupy znaków, tworzących obiekty. Każdej grupie jest przydzielona jedna warstwa. Wybierając w odpowiedniej kolejności warstwy z określonymi obiektami, można uzyskać złożenia reprezentujące różne odmiany części. Każdej warstwie można nadać status, a mianowicie:

- warstwy aktualnej (roboczej), na której tworzy się nowe obiekty,
- warstwy niewidocznej, na której obiekty są niewidoczne,

- warstwy niedrukowalnej; obiekty zawarte na tej warstwie są widoczne, ale nie drukowalne.

Dodatkowo każdej warstwie przypisujemy kolor, rodzaj linii, grubość.

Funkcje systemów CAD są na ogół podzielone na aplikacje. Aplikacje charakteryzują się wspólnymi cechami, narzędziami i funkcjami, niezbędnymi do wykonywania określonych czynności. Podstawowe aplikacje systemów CAD/CAM zawierają narzędzia potrzebne do:

- modelowania bryłowego i powierzchniowego,
- wykonywania dokumentacji technicznej,
- tworzenia programów obróbki części na obrabiarkach CNC,
- przeglądania i sprawdzania istniejącego modelu geometrycznego zapisanego w określonym zbiorze danych.

ZAŁĄCZNIKI DO ROZDZIAŁU

ZAŁĄCZNIK NR 1 Rysunek techniczny. Zagadnienia ogólne. Wykaz norm.

- PN – 80/N–01612 Rysunek techniczny. Formaty arkuszy.
- PN – 83/N – 01615 Rysunek techniczny. Wykresy.
- PN – 85/H – 01550 Dokumentacja technologiczna odlewnicza. Zasady wykonywania rysunków.
- PN – 85/M – 01119 Dokumentacja konstrukcyjna. Tabliczki rysunkowe.
- PN – 86/N – 01603 Rysunek techniczny. Składanie formatów arkuszy.
- PN–89/H–01570 Dokumentacja technologiczna odlewnicza. Zasady wykonywania rysunków dla odlewów z form piaskowych.
- PN–89/N–01605 Rysunek techniczny. Wykonywanie rysunków. Terminologia.
- PN–90/N–01611 Rysunek techniczny. Wykonywanie dokumentów. Terminologia.
- PN–91/N–01604 Rysunek techniczny. Widoki, przekroje, kłady.
- PN–EN 61346–1:2002 Systemy przemysłowe, instalacje, i urządzenia oraz wyroby przemysłowe. Zasady strukturyzacji i oznaczenia referencyjne – Część 1: reguły podstawowe.
- PN–EN 61346–2:2002 Systemy przemysłowe, instalacje i urządzenia oraz wyroby przemysłowe. Zasady strukturyzacji i oznaczenia referencyjne – Część 2: Klasyfikacja obiektów i klasy kodów.
- PN–EN ISO 10209–2:2001 Dokumentacja techniczna wyrobu. Terminologia Część 2: Terminy dotyczące rzutowania.
- PN–EN ISO 128–20:2002 Rysunek techniczny. Zasady ogólne przedstawiania–Część 20: Wymagania podstawowe dotyczące linii.
- PN–EN ISO 128–21:2002 Rysunek techniczny. Zasady ogólne przedstawiania.Część 21: Linie w systemie CAD.
- PN–EN ISO 128–21:2006 Rysunek techniczny. Zasady ogólne przedstawiania. Linie w systemach CAD.
- PN–EN ISO 3098–0:2002 Dokumentacja techniczna wyrobu. Pismo – Część 0: Zasady ogólne.
- PN–EN ISO 3098–2:2002 Dokumentacja techniczna wyrobu. Pismo – Część 2: Alfabet łańciski, cyfry i znaki.
- PN–EN ISO 3098–3:2002 Dokumentacja techniczna wyrobu. Pismo – Część 3; Alfabet grecki.
- PN–EN ISO 3098–4:2002 Dokumentacja techniczna wyrobu–Pismo – Część 4: Znaki diakrytyczne i specjalne alfabetu łańciskiego.
- PN–EN ISO 3098–5:2002 Dokumentacja techniczna wyrobu – Pismo – Część 5: Pismo alfabetu łańciskiego, cyfry i znaki w projektowaniu wspomaganym komputerowo (CAD).
- PN–EN ISO 5455:1998 Rysunek techniczny– Podziałki.
- PN– EN ISO 5456–1:2002 Rysunek techniczny – metody rzutowania – Część 1: Postanowienia ogólne.
- PN–EN ISO 5456–2:2002 Rysunek techniczny – Metody rzutowania – Część 2: Przedstawianie

prostokątne.

- PN EN ISO 5456-3:2002 Rysunek techniczny – Metody rzutowania – Część 3: Przedstawianie aksonometryczne.
- PN-EN ISO 5456-4 Rysunek techniczny – Metody rzutowania – Część 4: Rzutowanie środkowe.
- PN-EN ISO 5456-4:2006 Rysunek techniczny – Metody rzutowania – Część 4: Rzutowanie środkowe.
- PN-EN ISO 5457:2002 Dokumentacja techniczna wyrobu– Wymiary i układ arkuszy rysunkowych.
- PN-EN ISO 6428:2002 Rysunek techniczny – Wymagania dotyczące mikrofilmowania.
- PN-EN ISO 6433:1998 Rysunek techniczny – Oznaczanie części.
- PN-ISO 10209-1:1994 dokumentacja techniczna wyrobu– Terminologia. Terminy dotyczące rysunków technicznych: ogólne i rodzaje rysunków.
- PN- ISO 10578:1994 Rysunek techniczny – Tolerowanie kierunku i położenia. Pole zewnętrzne tolerancji.
- PN ISO 128-1:2006 Rysunek techniczny – Zasady ogólne przedstawiania – Część 1: Wprowadzenie i indeks.
- PN-ISO 128-22:2003 Rysunek techniczny – Zasady ogólne przedstawiania – Część 22: Wymagania podstawowe i zastosowanie linii wskazujących i linii odniesienia.
- PN-ISO 128-30 Rysunek techniczny– Zasady ogólne przedstawiania – Część 30: Wymagania podstawowe dotyczące rzutów.
- PN-ISO 128-50 Rysunek techniczny – Zasady ogólne przedstawiania – Część 50: Wymagania dotyczące przedstawiania powierzchni na przekrojach i kładach.
- PN ISO 129/Ak:1996 Rysunek techniczny – Wymiarowanie – Zasady ogólne – Definicje – Metody wykonywania i oznaczenia specjalne(Arkusz krajowy).
- Pn-ISO 129: 1996 Rysunek techniczny – Wymiarowanie – Zasady ogólne – Definicje – Metody wykonywania i oznaczenia specjalne.
- PN ISO 3272-1:1999 Mikrografia. Mikrofilmowanie rysunków technicznych i innych dokumentów biur projektów – Kryteria i kontrola jakości mikrofilmów żelatyno – srebrowych 35mm.
- PN- ISO 3272-4:1999 Mikrografia – Mikrofilmowanie rysunków technicznych i innych dokumentów biur projektów.
- PN-ISO 3272-6:2002 Mikrofilmowanie rysunków technicznych i innych dokumentów biur projektów – Część 6: Kryteria jakości i kontrola systemów do powiększeń z mikrofilmu 35 mm.
- PN-ISO 406:1993 Rysunek techniczny – Tolerowanie wymiarów liniowych i kątowych.
- PN-ISO 7200: 1994 Rysunek techniczny. Tabliczki tytułowe.
- PN-N- 01603:1986 Rysunek techniczny– Składanie formatów arkuszy.
- PN-N-01615:1983 Rysunek techniczny– Wykresy.
- PrPN-EN ISO 128-21 Rysunek techniczny. Zasady przedstawiania – Część 21: Linie w systemie CAD.
- PrPN-EN ISO 5456-4 Rysunek techniczny. Metody rzutowania – Część 4: Rzutowanie środkowe.
- PrPN-ISO 128-1 Rysunek techniczny – Zasady ogólne przedstawiania – Część 1: Wprowadzanie i indeks.
- PrPN-ISO 128-30 Rysunek techniczny. Zasady ogólne przedstawiania – Część 30: Wymagania podstawowe dla rzutowania.
- PrPN-ISO 128-40 Rysunek techniczny. Zasady ogólne przedstawiania – Część 40: Wymagania podstawowe dotyczące przekrojów i kładów.
- PrPN-ISO 128-50 Rysunek techniczny. Zasady ogólne przedstawiania – Część 50: Wymagania podstawowe dotyczące przedstawiania obszarów na przekrojach i kładach.
- PrPN-ISO 3272-1 mikrofilmowanie rysunków technicznych i innych dokumentów biur projektów – Część 1: techniki działania.

Katalog opracowany na podstawie informacji z PIN Bydgoszcz.

ZAŁĄCZNIK NR 2 Dokumentacja techniczna wyrobu. Wykaz norm.

- PKN-CEN/Guide 11:2007 Informacje o wyrobie istotne dla konsumentów – Wytyczne dla opracowujących normy.
- PN-82/M-45026 Technika bezpieczeństwa. Dźwignice. Paszport dźwigów elektrycznych.

- PN-83/M-01152 Dokumentacja technologiczna – Oznaczenia.
- PN-83/M-45482 Technika bezpieczeństwa – Dźwignice – Paszport wciągników elektrycznych.
- PN-85/M-35610 Technika bezpieczeństwa – Kotły parowe i wodne.
- PN-85/M-35611 Technika bezpieczeństwa – Zbiorniki ciśnieniowe.
- PN-87/M-01165 Dokumentacja technologiczna – produkcyjna – Dokumenty podstawowe – Wytyczne projektowania formularzy.
- PN-90/M-01172 Dokumentacja technologiczna – produkcyjna – Dokumenty technicznego normowania czasu pracy – Zakres informacji i wytyczne projektowania formularzy.
- PN-91/M-01167 Dokumentacja technologiczna – produkcyjna – Wykaz elementów wyrobu – Zakres informacji i wytyczne projektowania formularzy.
- PN-91/M-01171 Dokumentacja technologiczna – produkcyjna – Karta instrukcyjna obróbki skrawaniem – Zakres informacji i wytyczne projektowania formularzy.
- PN-91/M-01174 Dokumentacja techniczna – Dokumenty zmian technicznych. Zakres informacji i wytyczne projektowania formularzy.
- PN-91/M-01179 Dokumentacja technologiczna – produkcyjna – Oznaczenia informacji w komputerowych bazach danych.
- PN-91/M-01179 Dokumentacja technologiczna – produkcyjna – Oznaczenia informacji w komputerowych bazach danych.
- PN-91/N-01636 Dokumentacja techniczna – Sposoby nanoszenia zmian.
- PN-92/M-01173 Dokumentacja technologiczna – produkcyjna – Karta normowania zużycia materiału – Zakres informacji i wytyczne projektowania formularzy.
- PN-92/M-73742 Napędy i sterowania pneumatyczne. Zawory redukcyjne sprężonego powietrza – Podstawowe parametry i wymagania podawane w dokumentach techniczno – handlowych.
- PN-EN 10168:2005 Wyroby stalowe – Dokumenty kontroli – Wykaz informacji z opisem.
- PN-EN 10204: 2006 Wyroby metalowe– Rodzaje dokumentów kontroli.
- PN-EN 1041: 2009 Informacja dostarczana przez producenta wraz z wyrobem medycznym.
- PN-EN 13460: 2006 Obsługiwanie – Dokumenty dotyczące obsługiwanie.
- PN-EN 15380-2: 2006 Kolejnictwo – System oznaczania pojazdów szynowych – Część 1: Zasady ogólne.
- PN-EN 15380-2:2006 Kolejnictwo – System oznaczania pojazdów szynowych – Część 2: Grupy wyrobów.
- PN-EN 15380-3:2006 Kolejnictwo – System oznaczania pojazdów szynowych – Część 3: Oznaczenia miejsc zabudowy i położenia.
- PN-EN 61355:2002 Klasyfikacja i oznaczanie dokumentów instalacji, systemów i wyposażenia.
- PN-EN 62023:2002 Struktura informacji i dokumentacji technicznej.
- PN-EN 62027: 2002 przygotowanie wykazu części.
- PN-EN 62079:2002 Przygotowanie instrukcji – Struktura, zawartość i sposób prezentacji.
- PN-EN 82045-1:2003 Zarządzanie dokumentacją – Część 1; Zasady ogólne i metodyka.
- PN-EN 82045-2:2005 Zarządzanie dokumentami.
- PN-EN ISO 11442: 2006 Dokumentacja techniczna wyrobu – Zarządzanie dokumentami.
- PN-EN ISO 13567-1: 2004 Dokumentacja techniczna wyrobu – Organizacja i nadawanie nazw warstwom w systemie CAD – Część 1: Zasady ogólne.
- PN-EN ISO 13567-2: 2002 Dokumentacja techniczna. Warstwowanie i nazewnictwo w projektowaniu wspomaganym komputerowo (CAD) – Część 2: Pojęcia, formaty, przepisy stosowane w dokumentacji budowlanej.
- PN-EN ISO 13567-2: 2005 Dokumentacja techniczna wyrobu – Organizacja i nadawanie nazw w systemie CAD – Część 2: Pojęcia, format oraz kody stosowane w dokumentacji budowlanej.
- PN-EN ISO 7200: 2005 Dokumentacja techniczna wyrobu – Pola danych w tabliczkach rysunkowych i dokumentacyjnych.
- PN-EN ISO 7200:2007 Dokumentacja techniczna wyrobu – Pola danych w tabliczkach rysunkowych i nagłówkach dokumentów.
- PN- EN ISO 81714-1: 2002 Projektowanie symboli graficznych stosowanych w dokumentacji technicznej

- wyrobów – Część 1: Podstawowe zasady.
- PN-ISO 11442-1: 1996 Dokumentacja techniczna wyrobów – Obsługa skomputeryzowanej informacji technicznej – Wymagania dotyczące bezpieczeństwa.
 - PN-ISO 11442-1: 1996/Ap1:1999 Dokumentacja techniczna wyrobów – Obsługa skomputeryzowanej informacji technicznej – Wymagania dotyczące bezpieczeństwa.
 - PN-ISO 11442-2: 1996 Dokumentacja techniczna wyrobów – Obsługa skomputeryzowanej informacji technicznej – Dokumentacja oryginalna.
 - PN-ISO 11442-2: 1996/Ap1: 1999 Dokumentacja techniczna wyrobów – Obsługa skomputeryzowanej informacji technicznej – Dokumentacja oryginalna.
 - PN-ISO 11442-3; 1996 Dokumentacja techniczna wyrobów – Obsługa skomputeryzowanej informacji technicznej – Fazy projektowania wyrobu.
 - Pn-ISO 11442-4: 1996 Dokumentacja techniczna wyrobu – Obsługa skomputeryzowanej informacji technicznej – Zarządzanie dokumentami i systemy wyszukiwania.
 - PN-ISO 11442-4:1996/AP1: 1999 Dokumentacja techniczna wyrobu – Obsługa skomputeryzowanej informacji technicznej – Zarządzanie dokumentami i systemy wyszukiwania.
 - PN-M- 01152: 1983 Dokumentacja technologiczna – Oznaczenia.
 - PN-M-01165: 1987 Dokumentacja technologiczno–produkcyjna – Dokumenty podstawowe – Zakres informacji.
 - Pn-M-01166: 1990 Dokumentacja technologiczno–produkcyjna – Dokumenty podstawowe – Wytyczne projektowania formularzy.
 - PN-M-01167; 1991 Dokumentacja technologiczno–produkcyjna – Wykazy elementów wyrobu – Zakres informacji i wytyczne projektowania formularzy.
 - PN-M-01171: 1991 Dokumentacja technologiczno–produkcyjna – Karta instrukcyjna obróbki skrawaniem – Zakres informacji i wytyczne projektowania formularzy.
 - PN-M01172: 1990 Dokumentacja technologiczno–produkcyjna – Dokumenty technicznego normowania czasu pracy – Zakres informacji i wytyczne projektowania formularzy.
 - PN-M-01173: 1992 Dokumentacja technologiczno–produkcyjna – Karta normowania zużycia materiału – Zakres informacji i wytyczne projektowania formularzy.
 - PN-M-01174: 1991 Dokumentacja techniczna – Dokumenty zmian technicznych – Zakres informacji i wytyczne projektowania formularzy.
 - PN-M-01179: 1991 Dokumentacja technologiczno–produkcyjna – Oznaczenia informacji w komputerowych bazach danych.
 - PN-M-35610: 1985 Technika bezpieczeństwa – Kotły parowe i wodne.
 - PN-M – 35611: 1985 Technika bezpieczeństwa – Zbiorniki ciśnieniowe.
 - PN-N- 01636: 1991 dokumentacja techniczna – Sposoby nanoszenia zmian.
 - PrPn-EN 10168 Wyroby stalowe – Dokumenty kontroli.
 - PrPN-EN13460 Obsługiwanie – Dokumenty dotyczące obsługiwanie.
 - PZPN-EN ISO 13567 – 2 Dokumentacja techniczna wyrobu – Organizacja i nadawanie nazw warstwom w systemie CAD – Część 2: Pojęcia, format oraz kody stosowane w dokumentacji budowlanej.
 - PN-EN ISO 7200 Dokumentacja techniczna wyrobu – Pola danych w tabliczkach rysunkowych i dokumentacyjnych.
- Katalog opracowany na podstawie informacji z PIN Bydgoszcz.

ZAŁĄCZNIK NR 3 System oznaczania stali wg pn-EN 10027-1:1994 ze względu na zastosowanie i własności fizykochemiczne.

Symbole główne		Symbole dodatkowe							
		Gatunków stali				Wyrobu			
Zakres zastosowania		Cecha wytrzymałości		Minimalna praca łamania w Julach próbki z karbem ISO-V wzdłuż kierunku walcowania				Symbol poprzedzony zawsze znakiem +	
				27(J)	40(J)	60(J)	Temp. badania	Tab. 1 Symbole wymagań specjalnych stawianym wyrobom	Tab. 2 Symbole określające rodzaj powłoki wyrobu
S	Stale konstrukcyjne	JR	KR	LR	20 C				
P	Stale do pracy pod ciśnieniem	J0	K0	L0	0 C				
L	Stale na rury przewodowe	J2	K2	L2	-20 C				
E	Stale maszynowe	J3	K3	L3	-30 C				
H	Wyroby płaskie do kształtowania na zimno	J4	K4	L4	-40 C				
Minimalna wartość granicy plastyczności Re w Mpa		J5	K5	L5	-50 C				
		J6	K6	L6	-60 C				
		A	Utwardzona wydzielinowo						
		M	Walcowana termomechanicznie						
		N	Normalizowana						
		Q	Ulepszona cieplnie						
B		Stale do zbrojenia betonu		Klasa ciągliwości					
				G		Inne cechy			
Y		Stale do betonu sprężonego		Minimalna wytrzymałość na rozciąganie Rm w Mpa		C	Drut ciągniony na zimno		
				H		Pręt walcowany na gorąco			
R		Stal na szyny w lub postaci szyn		Minimalna twardość oznaczona w skali Brinella HBW		Cr	Dodatek chromu	Cyfra oznaczająca 10 x średnią zawartość tego pierwiastka, zaokrągloną do 0,1 %	
						Mn	Dodatek manganu		
						HT		Obrabiana cieplnie	
						LHT		Niskostopowa, obrabiana cieplnie	

System oznaczania stali wg PN-EN 10027-1:1994 ze względu na skład chemiczny.

Symbole główne		Symbole dodatkowe				
		Gatunków stali		Wyrobu		
Grupa stali	Zawartość węgla	Symbole pierwiastków chemicznych i ich procentowa zawartość		Tab. 1	Tab. 2	
C	stale niestopowe o średniej zawartości Mn < 1%.	100 x średnią zawartość węgla w %		Nie dotyczy		
	stale niestopowe o średniej zawartości manganu > 1%, niestopowe stale automatowe i stale stopowe o zawartości każdego pierwiastka stopowego < 5%	100 x średnią zawartość węgla w %	Symbole pierwiastków chemicznych w kolejności malejącego udziału oraz liczb oznaczających średni % udział pomnożony przez współczynniki z tabeli	Dotyczy	Nie dotyczy	
			Pierwiastek			Współczynnik
			Cr, Co, Mn, Ni, Si, W			4
			Al, Be, Cu, Mo, Nb, Pb, Ta, Ti, V, Zr			10
			Ce, N, P, S			100
			B	1000		
X	stale stopowe (bez stali szybko tnących) zawierające przynajmniej jeden pierwiastek stopowy w ilości > 5%	100 x średnią zawartość węgla w %	Symbole pierwiastków chemicznych w kolejności malejącego udziału oraz liczb, przedzielonych poziomą kreską oznaczających średni % udział	Nie dotyczy		
HS	stal szybko tnąca		liczby oznaczające procentowe zawartości (zaokrąglone do najbliższych liczb całkowitych) pierwiastków stopowych w następującej kolejności: wolfram, molibden, wanad, kobalt przedzielone poziomą kreską	zawartość chromu nie jest podawana, gdyż jest we wszystkich gatunkach tych stali taka sama i wynosi od 4,0 do 4,5%.		

Symbole dodatkowe (wyciąg z normy).

Tabele symboli dodatkowych (wyciąg z normy)	
Tab.1	
Symbol	Wymagania specjalne stawiane wyrobom
+CH	Hartowność rdzenia
+H	Hartowność
+Z35	Własność w kierunku prostopadłym do powierzchni minimalne przewężenie 35%
Tab.2	
Symbol	Wymagania określające rodzaj powłoki
+A	Aluminiowa metodą zanurzeniową
+AS	Aluminiowo cynkowa
+CU	Miedziowa
+ZF	Cynkowo żelazowa
+Z	Cynkowa nałożona zanurzeniowo
Tab.3	
Symbol	Wymagania określające stan obróbki cieplnej
+A	Wyżarzona zmiękczająco
+AT	Przesycona
+C	Zgniot na zimno
+CR	Walcowana na zimno
+HR	Walcowana na gorąco
+NT	Normalizowana i odpuszczona
+N	Normalizowana
+QT	Ulepszona cieplnie
+U	Nieobrobiona
+WW	Przerobiona plastycznie na ciepło
+QW	Hartowana w wodzie

ROZDZIAŁ II. OBRABIARKI STEROWANE NUMERYCZNIE

4. OBRABIARKI STEROWANE NUMERYCZNIE

4.1 Definicje OSN (CNC)

Termin CNC (ang. *Computerized Numerical Control* – komputerowe sterowanie urządzeń numerycznych) lub OSN – obrabiarki sterowane numerycznie, stosowany jest zwykle w odniesieniu do maszyn technologicznych służących do obróbki materiałów, w których zastosowano komputerowy system sterowania pracą maszyny. Najpowszechniej znane obrabiarki sterowane numerycznie to tokarki, frezarki, szlifierki a także centra obróbkowe umożliwiające wykonanie w jednym zamocowaniu przedmiotu dużej liczby zabiegów obróbkowych za pomocą wielu różnych narzędzi. Jedna maszyna może np. wiercić, frezować, gwintować, rozwiercać. Prekursorami obrabiarek sterowanych numerycznie były obrabiarki NC, które w swoich układach sterowania nie posiadały jeszcze programowalnych mikroprocesorów. Pierwszą uniwersalną obrabiarkę sterowaną numerycznie, skonstruowano w połowie lat 50-tych ubiegłego wieku w Bostonie. Na rysunku 4.1 pokazano obrabiarkę wykonaną w Bostonie w 1953 roku, a na rysunku 4.2, dla porównania, obrabiarkę współczesną bez osłon i z nałożonymi osłonami. Pod koniec XX wieku nastąpił proces szybkiego rozwoju w dziedzinie projektowania i przemysłowego zastosowania sterowanych numerycznie automatów, centrów obróbkowych a następnie elastycznych systemów produkcyjnych.

Produkcja masowa, a przez to tania, obwodów scalonych spowodowała, że realizowane wcześniej w maszynach przetwarzanie informacji przez środki mechaniczne zostało wyparte przez środki elektroniczne. Niezawodność zespołów elektronicznych stała się wystarczająco wysoka, aby wytrzymać drgania i inne niszczące czynniki środowiska pracy maszyn. Układy sterowania procesami mechanicznymi stały się prostsze, dokładniejsze i bardziej elastyczne wraz z pojawieniem się mikroprocesora. Układy sterowania nie są już tylko organiczną częścią maszyny ale stały się programowalnym i łatwo wymiennym modułem maszyny.

W nowo konstruowanych sterowanych maszynach technologicznych i transportowych stosowanie sterowania numerycznego opartego na programowalnych mikroprocesorach jest już standardem. Do grupy maszyn technologicznych, w których stosuje się CNC, poza wymienionymi, należą między innymi: obrabiarki laserowe, obrabiarki do obróbki erozyjnej, maszyny do cięcia wodą, maszyny cięcia plazmą, gięcia blach i profili kształtowych, zwijania blach, spawania. Dużą, i wciąż rosnącą, grupę maszyn numerycznie sterowanych stanowią roboty przemysłowe wykorzystywane w różnych działach produkcji, w transporcie, kontroli i pomiarach. Na rysunkach 4.3 – 4.12 pokazane zostały ilustracje przykładowych maszyn technologicznych w których do sterowania wykorzystuje się systemy sterowania CNC.



Rys. 4.1 Obrabiarka NC – Boston 1953r. [6]



Rys. 4.2 Współczesna obrabiarka CNC bez osłon i z nałożonymi osłonami [11]



Rys. 4.3 Wycinarka laserowa [21]



Rys. 4.4 Wycinarka plazmowa [22]



Rys. 4.5 Maszyna do cięcia strumieniem wody [23]



Rys.4.6 Robot spawalniczy [4], realizuje proces spawania lub proces cięcia wg zaprogramowanej trasy



Rys.4.7 Robot transportowy [4], wyszukuje i dostarcza elementy na stanowiska linii produkcyjnej wg zadanego programu



Rys. 4.8 Robot do napawania plazmowego [4], realizuje proces napawania elementów regenerowanych



Rys.4.9 Robot pomiarowy [4], realizuje pomiary elementów, wizualizuje wyniki, sygnalizuje niezgodności z założonymi wartościami i archiwizuje wyniki pomiarów



Rys. 4.11 Ploter frezujący [24]

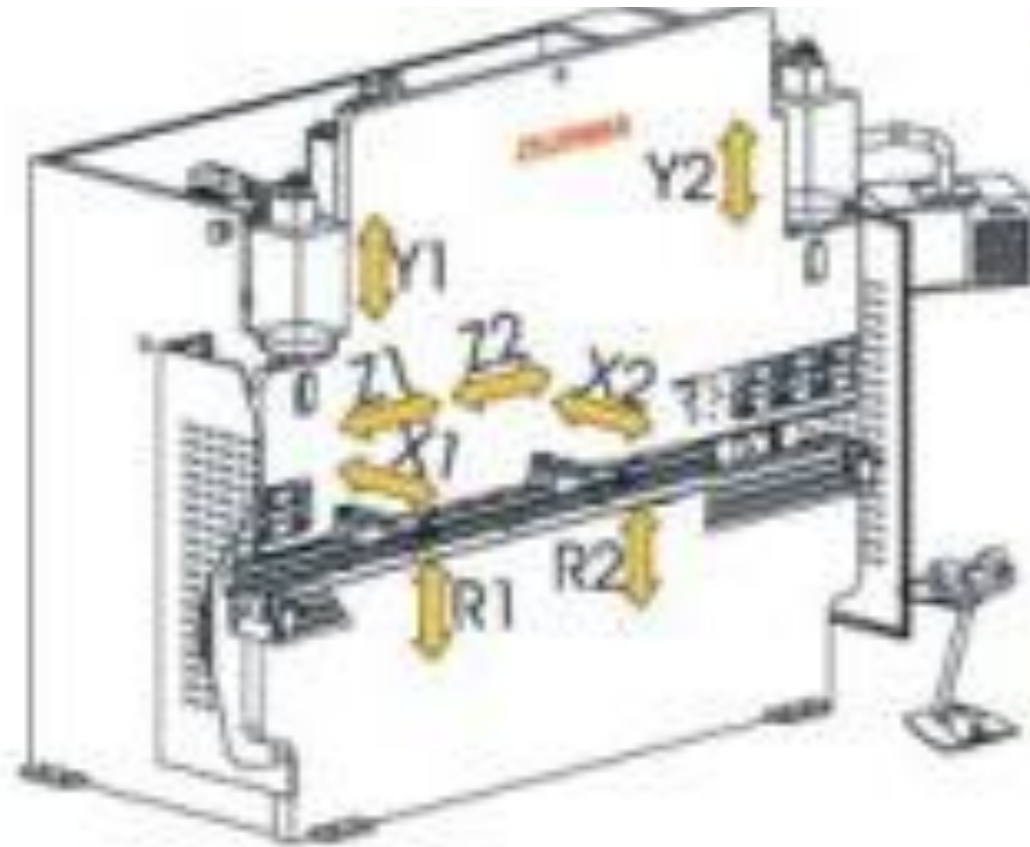
a)



Rys.4.10 Ploter przemysłowy [24]



b)



Rys.4.12 (a, b) Prasa krawędziowa [17], sterowanie CNC 4-osiowe

4.2 Wybrane technologie w których, stosowane są OSN

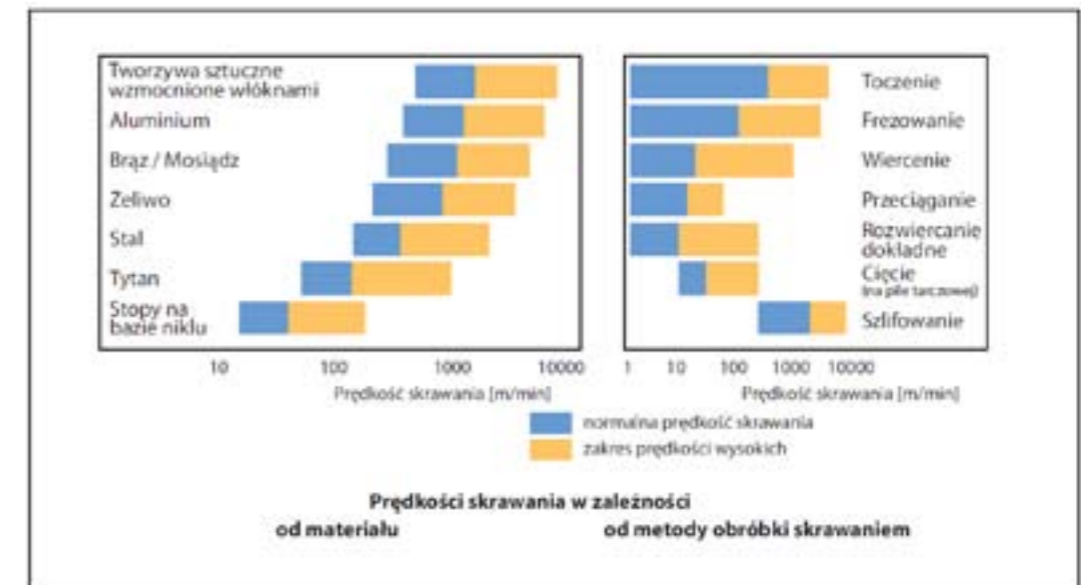
4.2.1 Nowoczesne technologie produkcji w obróbce skrawaniem

Wysokosprawne programowalne systemy sterowania maszynami do obróbki skrawaniem oraz wzrost sprawności i niezawodności układów napędowych maszyn przy jednoczesnym dążeniu do obniżenia kosztów wytwarzania wpłynęły na rozwój nowoczesnych technologii produkcji w obróbce skrawaniem. Dominujące znaczenie mają tu cztery technologie:

1. skrawanie z wysokimi prędkościami (HSC),
2. skrawanie wysokowydajne (HPC),
3. skrawanie na sucho lub skrawanie z minimalnym smarowaniem (MMS),
4. skrawanie materiałów bardzo twardych.

Skrawanie z wysokimi prędkościami (HSC) (ang. *High Speed Cutting*) (ang. *High Speed Machining HSM*)

W technologii tej prędkość posuwu jest większa od prędkości rozchodzenia się temperatury w obrabianym materiale, co skutkuje tym, że prawie cała energia zgromadzona przy odrywaniu wióra zostaje razem z nim wyrzucona. W związku z tym narzędzie i materiał podczas skrawania rozgrzewają się mniej, niż przy obróbce konwencjonalnej.



Rys. 4.13 Obszary prędkości skrawania przy normalnych i wysokich prędkościach dla wybranych materiałów [3]

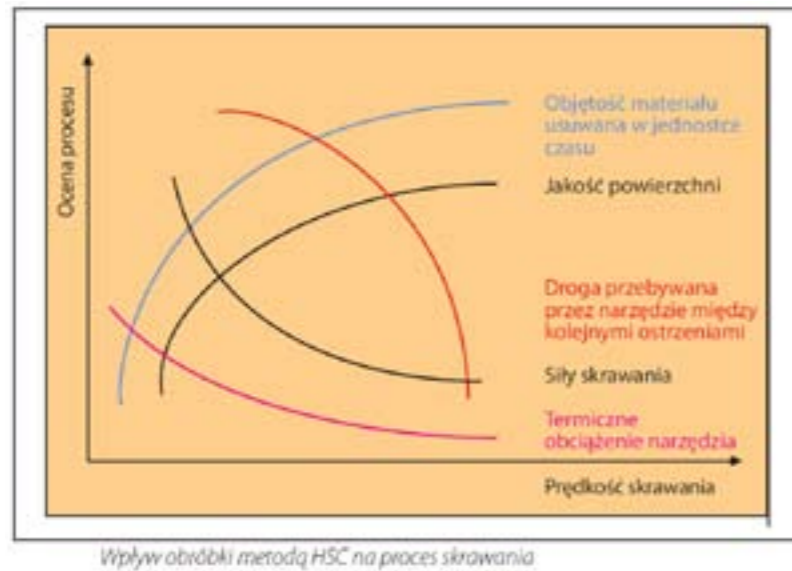
Na rysunku 4.13 pokazano obszary stosowanych prędkości skrawania przy normalnych i wysokich prędkościach dla wybranych materiałów, a na rysunku 4.14 wpływ prędkości skrawania na wartość parametrów procesu skrawania.

Wzrost prędkości skrawania powoduje:

- znaczne skrócenie czasów głównych,
- możliwość zwiększenia jednostkowych objętości usuwanego materiału o około 30%,
- 5- do 10-krotne zwiększenie prędkości posuwu,

- możliwość zmniejszenia siły skrawania o ponad 30%,
- możliwość obróbki bez drgań przedmiotów o skomplikowanych kształtach geometrycznych.

Jakość powierzchni zbliżona do jakości uzyskiwanej po szlifowaniu, obróbka nie powodująca odkształceń, dzięki odprowadzaniu ciepła powstającego podczas procesu głównie przez wióry [3].



Rys. 4.14 Wpływ prędkości skrawania na wartość parametrów procesu skrawania [3]

Skrawanie wysokowydajne (HPC) (High Performance Cutting)

Skrawanie wysokowydajne opiera się głównie na optymalizacji objętości materiału usuwanego w jednostce czasu, przez co znacznemu skróceniu ulega czas główny obróbki.

Obejmuje ono skrawanie z dużymi prędkościami, ale również obszar małych prędkości skrawania, przy wyraźnie wyższych posuwach, gdyż również wtedy można uzyskać bardzo duże objętości materiału usuwane w jednostce czasu.

Wysoką wydajność skrawania uzyskuje się również skracając czasy pomocnicze procesu przez zwiększenie prędkości pozycjonowania i prędkości przesuwów szybkich oraz zmniejszenie czasów wymiany narzędzi.

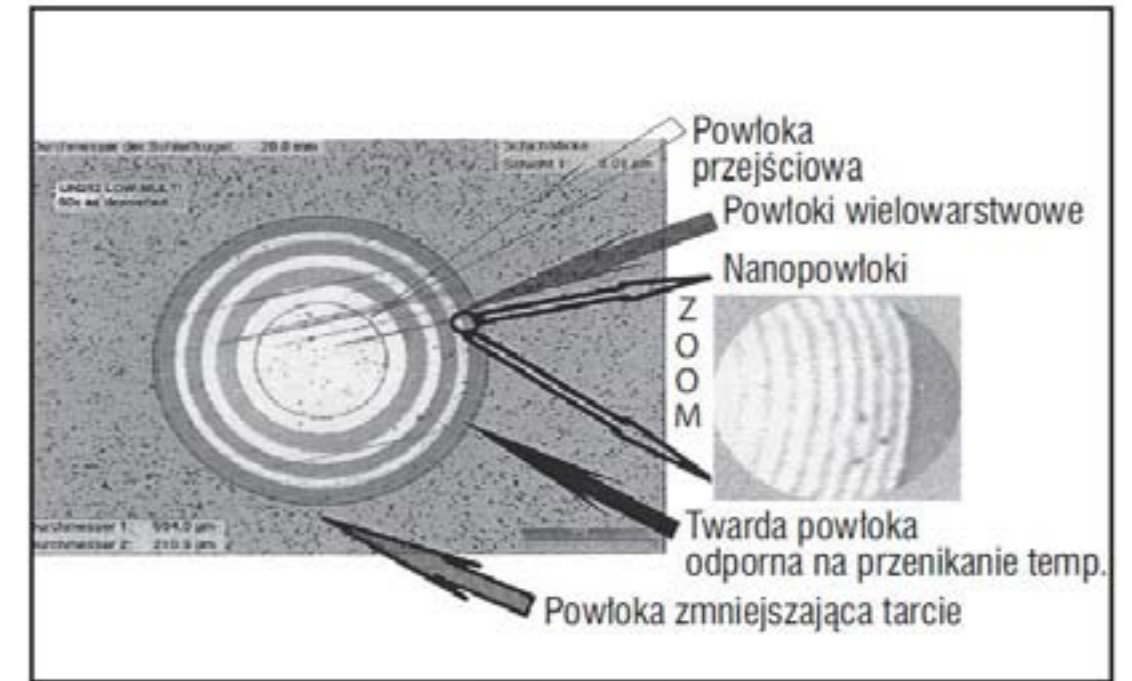
Ilości usuwanego materiału przy skrawaniu wysokowydajnym wynosi od 5000 do 10000 cm³/min. Narzędzia do obróbki wysokowydajnej muszą więc przejmować duże siły skrawania występujące zwłaszcza przy obróbce HPC, jak również większe siły odśrodkowe, znacząco wyższe, niż przy obróbce HSC.

Skrawanie na sucho lub skrawanie z minimalnym smarowaniem (MMS)

Duże ilości cieczy chłodząco-smarujących zużywane w procesie obróbki skrawaniem i generowane przez to koszty jak też zanieczyszczenie środowiska wymuszają poszukiwanie technologii skrawania na sucho lub z minimalnym smarowaniem.

Wyprodukowanie części o wymaganej jakości przy utrzymaniu założonych kosztów wymaga stosowania odpowiednich narzędzi. Do obróbki na sucho nadają się przede wszystkim narzędzia powlekane stopami twardymi lub ze spieków ceramicznych a także narzędzia diamentowe. Posiadają one wysoką twardość i odporność na zużycie, w wysokich temperaturach.

Bardzo dobre wyniki wiercenia stali osiąga się przy użyciu powłok TiAlN-TiN-Multilayer. Rysunek 4.15 przedstawia kolejność powłok tej struktury. Dzięki smarnemu działaniu miękkich warstw poślizgowych następuje zmniejszenie tarcia pomiędzy wiórem a narzędziem.



Rys. 4.15 Wielopowłokowa struktura TiAlN-TiN [3]

Smarowanie minimalne

Możliwości obróbki wyłącznie na sucho są ograniczone lub czasem ze względu na niewłaściwą jakość niemożliwe. W praktyce często stosuje się minimalne smarowanie połączone z chłodzeniem (obróbka quasi na sucho). Niewielkie ilości cieczy chłodząco-smarującej poprawiają wynik obróbki i zapewniają możliwość zmniejszenia zużycia cieczy chłodząco-smarującej.

Przy omawianiu doprowadzania szczególnie niewielkich ilości cieczy chłodząco-smarującej przyjęły się dzisiaj następujące pojęcia:

- minimalne smarowanie (chłodzenie) MMKS (ilość środka smarnego na ogół mniejsza niż 50 ml/h),
- smarowanie / chłodzenie zmniejszone MKS (ilość cieczy chłodząco-smarującej na ogół mniejsza niż 120 l/h) [3].

Skrawanie materiałów twardych

Obróbka materiałów twardych charakteryzuje się szczególnym mechanizmem tworzenia wióra. Tworzą się wióry segmentowe, które przeważnie „spiekają się” w kształcie zębów piły. Materiały twarde nie ulegają odkształceniom plastycznym przy normalnych temperaturach i naciskach. Mechanizmy tworzenia wióra przy skrawaniu materiałów twardych, w porównaniu z obróbką materiałów miękkich powodują powstanie wysokich sił i temperatur skrawania. Występujące obciążenia wyznaczają wysokie wymagania dla stosowanych do tego celu materiałów na narzędzia skrawające. Ważna jest przede wszystkim ostrość narzędzia i odpowiedni kształt ostrzy, poza tym wyeliminowanie drgań przy obróbce.

Przy zastosowaniu obrabiarek o odpowiedniej stabilności i wystarczającej mocy napędu można osiągnąć wysoką jakość powierzchni obrabianych stali o twardości 45 a nawet 60HRC.

4.2.2 Technologie laserowe

Pierwsze urządzenia laserowe do obróbki materiałów pojawiły się w latach 70-tych ubiegłego wieku.

Laser przekształca zewnętrzną formę energii np. wyładowanie elektryczne, promieniowanie lampy błyskowej lub diody laserowej w promieniowanie świetlne o jednorodnej długości fali.

Medium laserowym może być gaz lub ciało stałe. W przemyśle stosowane są dwa podstawowe typy

laserów: lasery Nd:YAG, i lasery CO₂. Lasery Nd:YAG są laserami, w których medium laserowym jest ciało stałe - pręt o kompozycji: itr-aluminium-granat z uszlachetniającym dodatkiem neodymu (Nd). Lasery CO₂ są laserami gazowymi, gdzie CO₂ jest gazem generującym promieniowanie. Lasery Nd:YAG dają moc do ok. 5kW. Stosowane są do spawania, wiercenia, znakowania itp. Tego typu lasery dają możliwość przesyłania promienia za pomocą tzw. miękkiej optyki, co umożliwia np. operowanie wiązką przez robota przemysłowego. Lasery CO₂ zapewniają znacznie większą moc - do 50kW. Lasery tej konstrukcji wykorzystywane są głównie do cięcia, ale również do spawania i obróbki powierzchni. W laserach o mocy do 4kW wiązka laserowa skupiana jest za pomocą soczewki, a w laserach o wyższej mocy, ze względu na ograniczoną wytrzymałość termiczną soczewek, za pomocą lustra chłodzonego wodą.

Oba typy laserów emitują światło w zakresie podczerwieni, co oznacza, że promień laserowy jest niewidoczny. Operator musi więc zachować odpowiednie środki ostrożności i stosować okulary ochronne. Chronione muszą być również inne osoby pracujące w pobliżu urządzenia.

Cięcie laserowe

W zależności od mocy stosowanego urządzenia cięcie przeprowadza się na trzy sposoby: metodą spalania, stapiania lub sublimacji.

Do zalet cięcia laserowego zalicza się:

- dużą precyzję cięcia, dużą dokładność i dobrą jakość cięcia,
- wąska strefa wpływu ciepła co implikuje brak skrzywień, wypaczeń, dużą prędkość wycinania oraz wysoką jakość elementów wycinanych laserowo,
- gładką i czystą powierzchnię cięcia: zbędna jest dodatkowa obróbka wykańczająca co podnosi walory ekonomiczne metody cięcia laserowego,
- oszczędność materiału poprzez występowanie wąskiej szczeliny cięcia,
- szeroki zakres materiałów poddających się procesowi cięcia laserowego: od metali niestopowych i wysokostopowych po tworzywa sztuczne, szkło oraz drewno i ceramikę,
- łatwość pełnej automatyzacji, co umożliwia proste sterowanie przebiegiem produkcji i integrację z innymi systemami,
- wycinanie laserowe przebiega bezstykowo, nie występuje zjawisko zużywania narzędzi, nie są potrzebne nakłady na ich przygotowywanie i przezbrajanie,
- cięcie laserowe nie powoduje dużego hałasu, co korzystnie wpływa na higienę i ergonomię miejsca pracy.

Na rysunku 4.16 pokazano porównanie możliwości zastosowania cięcia laserem, plazmą i cięcia gazowego dla wybranych materiałów.

Material/ Proces	cięcie gazowe	cięcie plazmowe	cięcie laserowe
stal niestopowa i niskowęglowa	+	+	+
stal wysokostopowa	-	+	+
aluminium	-	+	+
tytan	-	-	+
materiały niemetalowe	-	-	+

Rys. 4.16 Możliwości cięcia różnych materiałów

Do wad cięcia laserowego należy zaliczyć duży koszt inwestycyjny oraz ze względów jakościowych ograniczona jest grubość ciętej blachy.

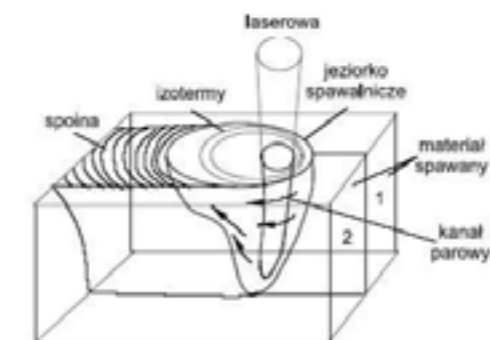
Spawanie laserowe

Spawanie laserowe polega na stapianiu obszaru styku łączonych przedmiotów ciepłem otrzymanym w wyniku doprowadzenia do tego obszaru skoncentrowanej wiązki światła koherentnego, o bardzo dużej gęstości mocy, ok. 10² do 10¹¹ W/mm².

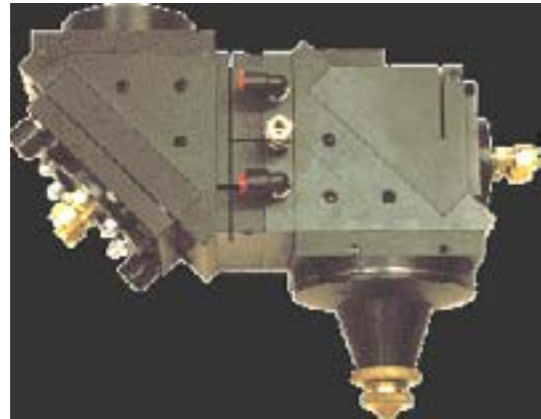
Spawanie odbywać się może techniką z jeziorkiem spoiny (rysunek 4.17), jak w klasycznym spawaniu łukowym, lub techniką z pełnym przetopieniem złącza, w jednym przejściu lub wielowarstwowo, bez lub z materiałem dodatkowym, czyli techniką z oczkiem spoiny.

Bardzo duże gęstości mocy wiązki laserowej zapewniają, że energie liniowe spawania są na poziomie minimalnych energii wymaganych do stopienia złącza, a strefa wpływu ciepła i strefa stopienia są bardzo wąskie. Jednocześnie odkształcenie złączy jest tak małe, że spawane przedmioty mogą być wykonywane na gotowo, a po spawaniu nie jest wymagana dodatkowa obróbka mechaniczna.

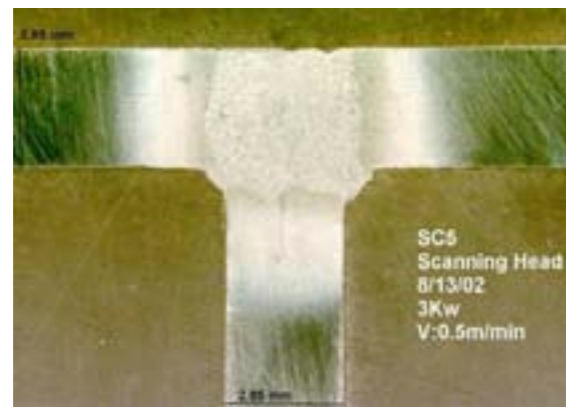
Głowicę do spawania laserowego przedstawia rysunek 4.18, a na rysunku 4.19 pokazano widok spoiny wykonanej laserem.



Rys. 4.17 Spawanie laserowe [12]



Rys. 4.18 Głowica do spawania laserowego [12]



Rys. 4.19 Widok spoiny wykonanej laserem, łączone elementy o grubości 2.85 mm [12]

Do spawania używane są zarówno lasery CO₂ jak i Nd:YAG.

Wyróżnia się lasery małej mocy, które są wykorzystywane w elektronice do spawania punktowego oraz lasery dużej mocy (powyżej 1,5 kW) pozwalające spawać z oczkiem.

W przypadku spawania laserem nie jest potrzebna próżnia, ponieważ wiązka bez przeszkód przenika przez powietrze. Przez to spoina jest narażona na zanieczyszczenia i wymagane jest stosowanie gazów ochronnych. Do spawania laserami CO₂ najczęściej stosuje się gazy: Ar, N₂, CO₂ lub He, które wspomagają ten proces, dzięki nim można osiągnąć głębokość spoiny do 25mm, służą one jednocześnie do ochrony wytopu przed skutkami utleniania.

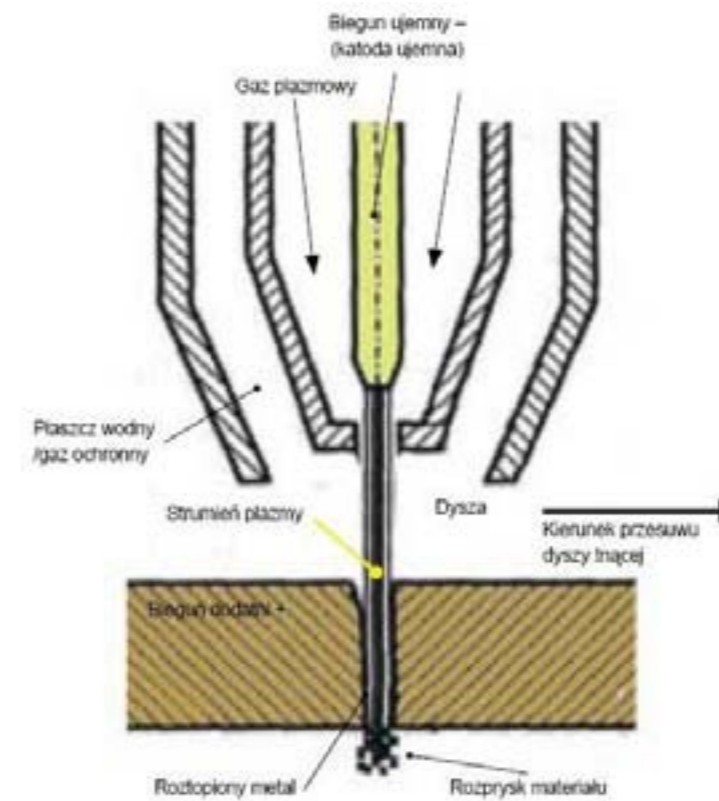
Zasadniczo za pomocą lasera można łączyć wszystkie materiały, dla których dotychczas wykorzystywano konwencjonalne metody, osiągając przy tym większą jakość i prędkość posuwu podczas spawania.

4.2.3 Cięcie plazmą

Podczas cięcia plazmą metal topiony jest miejscowo przez bardzo wysoką temperaturę (10000–20000°C) otrzymywaną przez ograniczony strumień plazmy.

Powszechnie stosowanym gazem plazmotwórczym jest powietrze. W urządzeniach o dużych mocach z reguły używa się argonu, azotu, wodoru, dwutlenku węgla oraz mieszanki argon-wodór i argon-hel.

Do cięcia plazmowego stosowane są palniki o natężeniu prądu 30–100 A, schemat palnika przedstawia rysunek 4.20.



Rys. 4.20 Schemat palnika do cięcia plazmą [16]

Maszynę do cięcia plazmą pokazano na rysunku 4.4. Przykładowe parametry techniczne takiej maszyny to [22]:

SZEROKOŚĆ ROBOCZA [mm]	1500 – 3000
DŁUGOŚĆ ROBOCZA [mm]	2000 – 24000
UKŁAD NAPĘDOWY	oś X: 2xserwonapęd AC – napęd dwustronny oś Y: 1xserwonapęd AC oś Z: 1xserwonapęd AC
PRĘDKOŚĆ PRZEJAZDU [m/min]	20
FORMAT KODU	G-code
DOKŁADNOŚĆ POZYCJONOWANIA [mm]	+/-0,05
MAKSYMALNA GRUBOŚĆ CIĘCIA PLAZMĄ	zależna od parametrów agregatu plazmowego
MAKSYMALNA GRUBOŚĆ CIĘCIA TLENEM [mm]	100

Zalety cięcia plazmą:

- znaczne prędkości - do 10 m/min,
- cięcie bez podgrzewania,
- szybkie przebijanie - do ok. 60mm,
- wąska strefa wpływu cięcia,
- stosunkowo niewielki wpływ temperatury na cały materiał,
- niewielka szczelina cięcia,
- możliwość cięcia bez nadpalania materiałów cienkich.

Wady:

- duży hałas (bez znaczenia w przypadku procesu cięcia pod wodą),
- silne promieniowanie,
- duża ilość gazów i dymów,
- zmiany w strefie wpływu cięcia,
- trudności w utrzymaniu prostopadłości krawędzi.

4.2.4 Waterjet – strumień wody

Technologia Waterjet (cięcia wodą) narodziła się w latach 70 dwudziestego wieku.

Technologia AWJ (Abrasive water jet – obróbka wodno-ścierna lub hydro-ścierna) używa strugi wody do przyspieszenia ziaren ścierniwa (najczęściej jest nim granat) (przecinanie samą wodą jest ograniczone do niektórych rodzajów materiałów).

Charakterystyczne cechy:

- prędkość strugi, u wylotu z dyszy, przekracza 500m/s,
- ciśnienie wody przed dyszą: rzędu 3500 do 4000 bar ale dostępne są także maszyny obsługujące ciśnienie 6000 bar,
- technologia AWJ pozwala na cięcie bardzo twardych materiałów (np. tytan) o grubości 150mm i więcej,
- proces przecinania nie ogrzewa materiału,
- pozwala na przecinanie i obróbkę szerokiego asortymentu materiałów – od bardzo cienkich folii począwszy, na materiałach o grubości do 30cm kończąc,
- wysoka dokładność krawędzi cięcia, na krawędzi cięcia nie powstają zadziory,
- krótki proces przygotowania produkcji,
- technologia doskonale nadaje się do cięcia wszelkiego rodzaju metali, szkła, drewna, tekstyliów, gumy, ceramiki, kamieni naturalnych, kompozytów, tworzyw sztucznych i wielu innych materiałów, których nie da się tak dobrze ciąć przy pomocy innych technik cięcia,
- możliwość rozpoczynania i kończenia obróbki w dowolnym miejscu,
- technologia przyjazna środowisku naturalnemu (podczas obróbki nie ma emisji szkodliwych gazów a po obróbkę odpady tj. woda i ścierniwo podlegają recyklingowi),
- poziom natężenia hałasu wynosi ok. 70-80 dB dla cięcia pod wodą oraz 100-120 dB dla cięcia bez zanurzenia.

Na rysunku 21 zamieszczono schemat głowicy roboczej systemu AWJ.

Przykładowe parametry procesu cięcia wodą:

- ciśnienie 380 MPa,
- ilość zużywanej wody około 4-6 l/min,
- ścierniwo granat #80,
- wydatek ścierniwa 0,45 kg/min,
- średnica dyszy wodnej 0,3 mm,

- średnica dyszy mieszającej 1 mm,
- długość dyszy mieszającej 75 mm,

Czas eksploatacji „nowoczesnej” dyszy wykonanej z kompozytu węglików wynosi ok. 80 godzin dla przecinania jakościowego oraz 140 godzin dla przecinania rozdzielającego.



- 1 - dopływ wody pod wysokim ciśnieniem,
- 2 - dysza wodna z osadzonym diamentem lub rubinem,
- 3 - materiał ścierny (granat),
- 4 - dysza mieszająca,
- 5 - osłona,
- 6 - strumień tnący,
- 7 - cięty materiał.

Rys. 4.21 Głowica robocza systemu AWJ [15]

Fotografię maszyny do cięcia strumieniem wodnym pokazano na rysunku 4.5. Przykładowe parametry użytkowe takich maszyn przedstawiono poniżej[15]:

Model	W1520A	W1525A
Konstrukcja	bramowa	bramowa
Rozmiar stołu	1600x2100mm	1600x2600mm
Zakres roboczy XY	1500x2000mm	1500x2500mm
Zakres roboczy Z	150mm	150mm
Konsola	FAGOR	FAGOR
Serwomotory	YASKAWA	YASKAWA
Dokładność	±0,1mm	±0,1mm
Powtarzalność	±0,025mm	±0,025mm
Posuw	0–15000mm/min	0–15000mm/min
Zasilanie	380V, 50/60Hz	380V, 50/60Hz

Najdroższym i technicznie najważniejszym zespołem maszyny do cięcia wodą jest pompa. Rysunek 4.22 przedstawia wygląd pompy, a poniżej podano jej podstawowe parametry techniczne.



Rys. 4.22 Pompa o mocy 75KW

Pompa o mocy 75KW, max. ciśnieniu roboczym 3800 bar oraz przepływie wody 11l /min

Max. ciśnienie robocze 380 MPa = 3800 Bar = 55.100 Psi

Wzmacniaczy 3

Ciśnienie oleju 0–150 Bar

Max. przepływ 11 l/min

Ciśnienie wody na wejściu 0.4 MPa

Moc silnika 75KW

Masa własna 1800kg

Wymiary (LxWxH) 2420x1640x1400mm

Filtry powietrza, oleju, wody (0.45µm, 1µm, 5µm)

DIAJET czyli Direct Injection Abrasive JET – to nazwa użytkowa metody bezpośredniego wytwarzania zawieszinowej strugi wodno-ścierniej polegającej **na wymieszaniu w zbiorniku ciśnieniowym wody z dozowanym do określonej koncentracji ścierniwem i dostarczeniu** tej mieszaniny jednym **elastycznym przewodem do głowicy roboczej wyposażonej** w (wykonaną najczęściej z węglików spiekanych) dyszę formującą strugę tnącą.

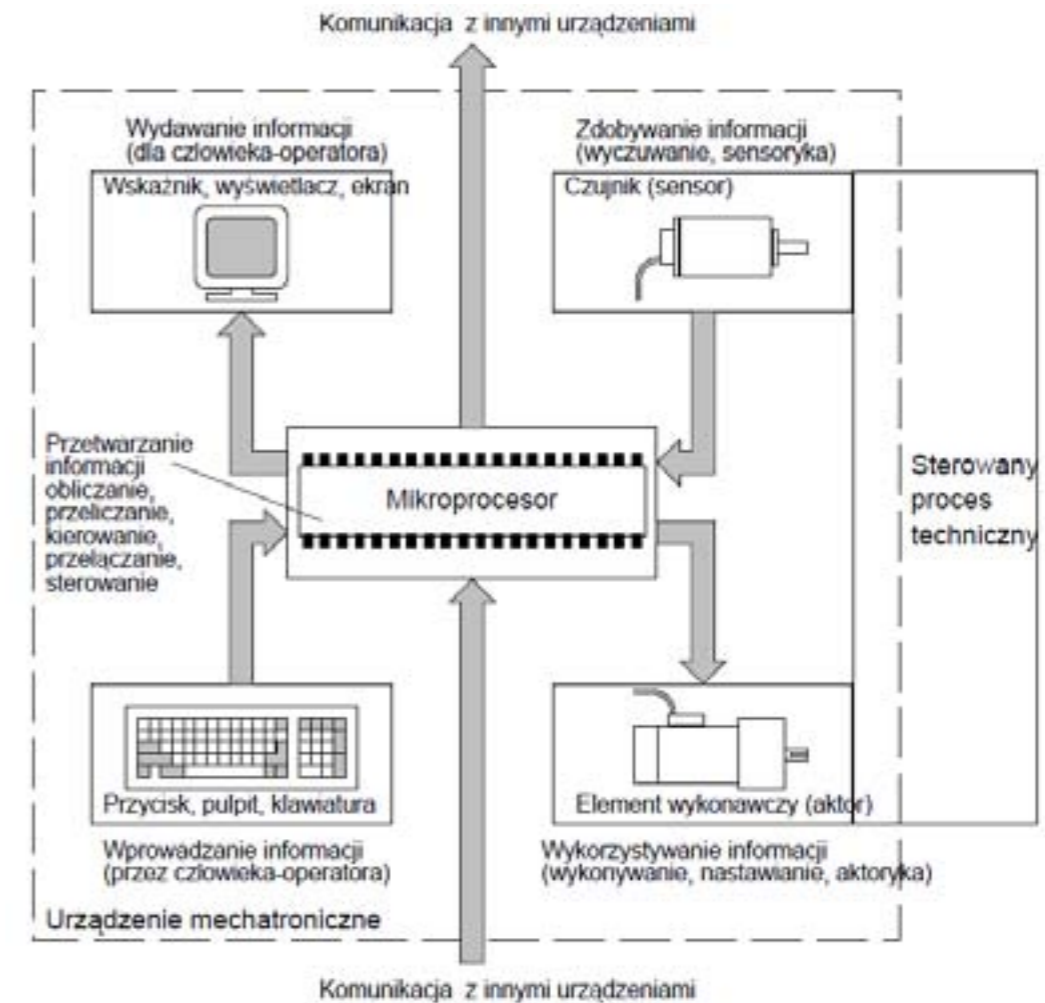
Istotną zaletą tej metody wytwarzania strugi wodno-ścierniej, w odniesieniu do metody pośredniego wytwarzania strugi AWJ (w której woda pod wysokim ciśnieniem i ścierniwo są oddzielnie doprowadzane do głowicy roboczej) jest znacznie bardziej efektywny sposób przyśpieszania ziaren ściernych w wytwarzanej strudze. Dzięki temu możliwe jest stosowanie ciśnienia roboczego o wartości ok. 70 MPa, które wystarcza do nadania strudze zawieszinowej prędkości ponad 300 m/s, czyniąc z niej efektywne narzędzie tnące. Metoda AWSJ została opracowana na przełomie 1985/1986r.

Granat (garnet) - jest to minerał, zaliczany do gromady krzemianów, wykorzystywany jako ścierniwo w technologii abrasive water jet.

Nazwa pochodzi od łacińskiego słowa granatus = granat, owoc granatu, co wskazuje na podobieństwo kamieni do ziaren owocu granatu. Barwa - najczęściej odcienie barwy pomarańczowoczerwonej, czerwonej i fioletowo-czerwonej. Twardość: 7,5 - 8 w skali Mohsa.

4.3 Budowa i zasada działania obrabiarek sterowanych numerycznie

Obrabiarka sterowana numerycznie jest urządzeniem mechatronicznym o modularnej budowie, co przedstawiono na rysunku 4.23. Przez integrowanie układów elektronicznych z mechanicznymi osiąga się poprawę charakterystyk składowych elementów i zespołów obrabiarek CNC.

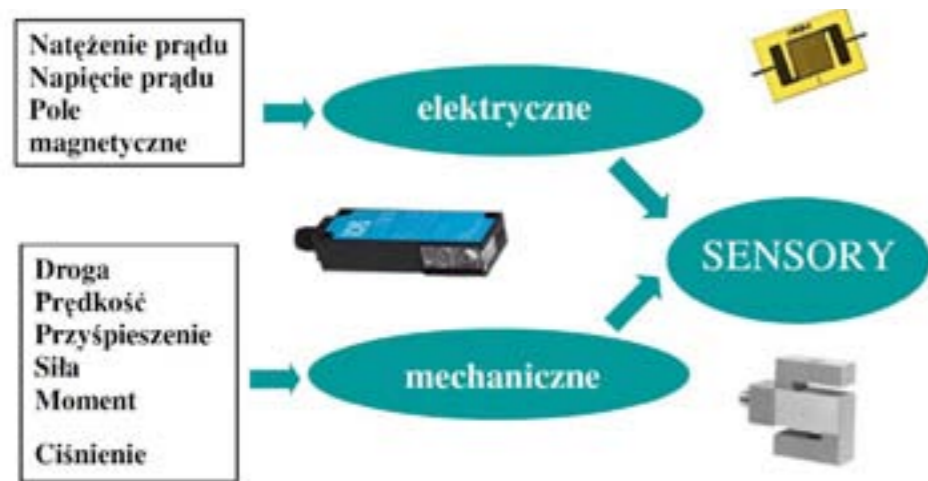


Rys. 4.23 Obrabiarka sterowana numerycznie jako urządzenie mechatroniczne [1]

Główne moduły obrabiarki CNC to:

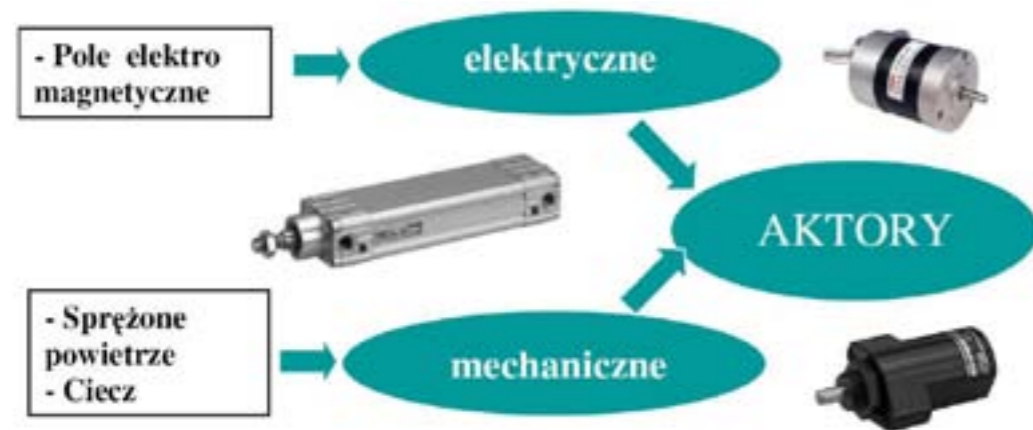
- mikroprocesor z układem pamięci, w tym program obróbki oraz programy wbudowane a wśród nich inercyjator,
- elementy wykonawcze (aktory),
- elementy do zbierania informacji o procesie – czujniki (sensory),
- urządzenia do wprowadzania informacji przez operatora – pulpit, przyciski, klawiatura,
- magistrale do komunikacji z innymi urządzeniami,
- urządzenia do wydawania informacji – ekran, wskaźniki, wyświetlacze.

Podział sensorów ze względu na rodzaj zbieranej informacji pokazano na rysunku 4.24, rysunek 4.25 przedstawia podział układów wykonawczych.



Rys. 4.24 Sensory – podział wg rodzaju zbieranej informacji [4]

Interferometr laserowy do pomiaru geometrii obrabiarek umożliwia pomiary przemieszczeń z rozdzielczością do 0.00001mm (10nm).



Rys. 4.25 Układy wykonawcze napędów [4]

Aktory zamykają pętlę sprzężenia zwrotnego, utworzoną przez układ śledzący (sensory) oraz zaprogramowany układ logiczny (procesor) sterujący pracą systemu.

Klasyczną definicję oraz typową konfigurację obrabiarki sterowanej numerycznie przedstawia rysunek 4.26. Na rysunku 4.27 pokazano definicja oraz ilustracja osi sterowanej numerycznie a na rysunku 4.28 schemat obrabiarki z 6 osiami sterowanymi.

Obrabiarka sterowana numerycznie jest to obrabiarka sterowana automatycznie w układzie otwartym lub zamkniętym z symbolicznym zapisem informacji, realizująca sterowanie pozycją zespołu sterowanego lub torem jego ruchu. Głównym celem takiej obrabiarki jest wykonywanie określonych zadań technologicznych.

Typowa konfiguracja obrabiarki sterowanej numerycznie obejmuje wymianę informacji pomiędzy

- układem sterowania numerycznego (NC),
- programowalnym sterownikiem logicznym (PLC – *Programmable Logic Control*),
- układem dopasowująco-sterującym (UDS),
- obrabiarką.

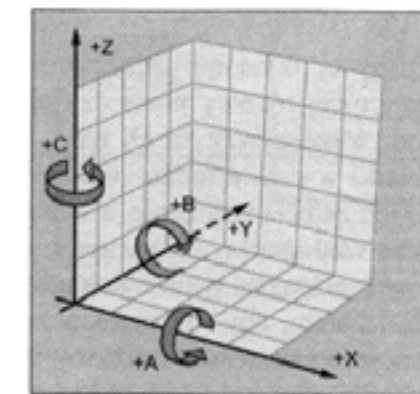


Rys. 4.26 Klasyczna definicja oraz typowa konfiguracja obrabiarki sterowanej numerycznie [2]

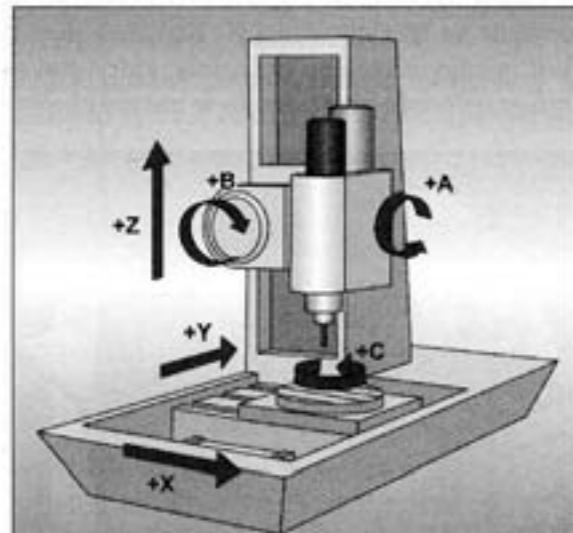
Pod pojęciem **osi sterowanej numerycznie** należy rozumieć każdy ruch sterowany w sposób ciągły. Wynika z tego, że w skład osi sterowanych numerycznie wchodzi zarówno osie ruchów posuwowych, jak również napędy wrzecion, o ile są to napędy bezstopniowe z możliwością kątownego pozycjonowania wrzeciona.

Obrabiarki sterowane numerycznie mają co najmniej dwie osie sterowane (tokarki – osie Z i X).

W układzie prostokątnym wyróżnić można trzy ruchy prostoliniowe wzdłuż osi X, Y, Z oraz trzy ruchy obrotowe wokół tych osi – A, B, C



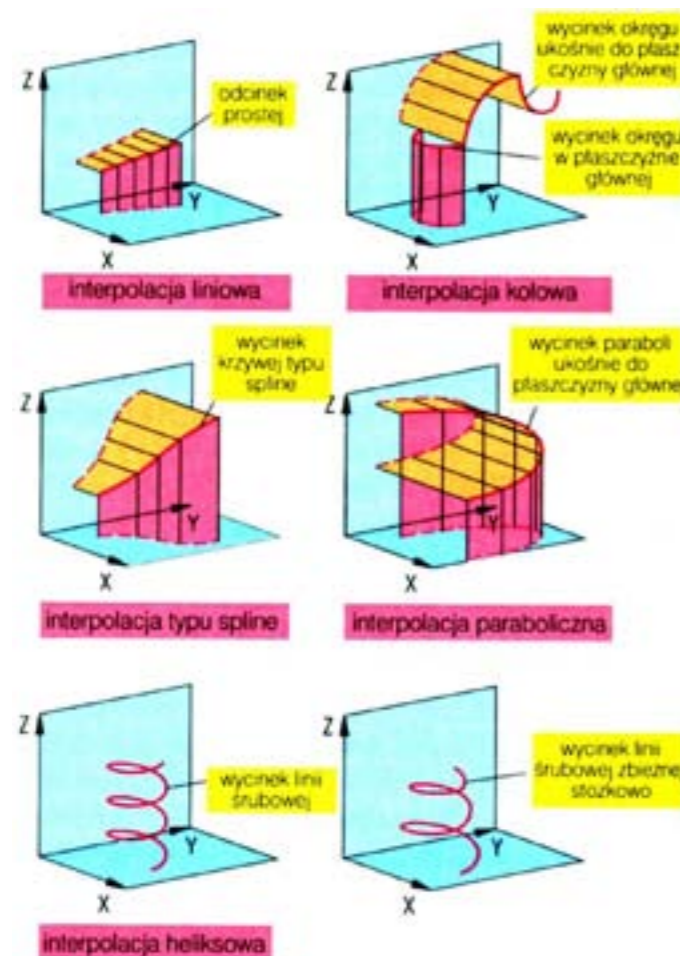
Rys. 4.27 Definicja oraz ilustracja osi sterowanej numerycznie [2]



Rys. 4.28 Schemat obrabiarki z 6 osiami sterowanymi [2]

Oś Z we wszystkich maszynach CNC jest równoległą do głównego ruchu roboczego.

Interpolator uważany jest za najważniejszy blok funkcjonalny sterowania numerycznego, który umożliwia sterowanie ruchem dwóch lub więcej niezależnych mechanizmów posuwu w taki sposób, aby ruch wypadkowy odbywał się pomiędzy dwoma kolejnymi punktami po torze, którego zarys uzależniony jest od konstrukcji interpolatora (liniowy, kołowy, paraboliczny, mieszany) [18]. Interpolator występuje w sterowaniach mających zapewnić ruch złożony, czyli w sterowaniach kształtowych.



Rys. 4.29 Ilustracje typowych interpolacji [18]

Informacja wyjściowa z interpolatora, czyli wartość zadana przemieszczenia w postaci jednego lub kilku sygnałów przekazywana jest do układów automatycznej regulacji przemieszczenia zespołów roboczych obrabiarki – serwomechanizmów posuwu. Serwomechanizm posuwu zapewnia realizację przemieszczenia zespołu roboczego z określoną dokładnością [18].

Przykład budowy nowoczesnej obrabiarki CNC oraz jej podstawowe parametry techniczne

Grawerka CNC Blackbox [24]

Grawerka High Speed CNC wersja czteroosiowa o obszarze roboczym x400 y375 z130, to najszybsza grawerka w swojej klasie. Prędkość do 300 mm/s i przyspieszenie do 10m/s² (1g). Prędkość grawerowania do 10 znaków na sekundę.



Rys. 4.30 Przykład budowy nowoczesnej obrabiarki CNC [24]

Wymiary obszaru roboczego [mm]

Długość	375	
Szerokość	400	
Zakres osi Z	130	
Wrzeciona:	24 000 obr/min	0.8kW, 1.0kW
	50 000 obr/min	2.2kW
	60 000 obr/min	0.3kW
Chłodzenie	Powietrze	Agregat chłodniczy
System sterowania	Silniki krokowe	Serwonapędy cyfrowe AC High Speed
Typ stołu	Stół T-rowkowy	Stół próżniowy Stół hybrydowy
Automatyczna wymiana narzędzi (ATC)		
Automatyczna korekcja długości narzędzia		

4.4 Układy współrzędnych stosowane w OSN – rodzaje, zasady zapisu

W osiach sterowanych numerycznie pomiary położenia mogą być wykonywane na dwa sposoby: z bezpośrednim pomiarem położenia gdy czujnik pomiarowy mierzy wprost położenie danego elementu obrabiarki lub z pośrednim pomiarem położenia gdy czujnik pomiarowy mierzy pewną wielkość pośrednio związaną z położeniem danego elementu obrabiarki, na podstawie której to położenie jest wewnętrznie obliczane przez układ pomiarowy.

Układy pomiaru położenia mogą być absolutne lub przyrostowe (inkrementalne), w tym przypadku przed pomiarem wymagany jest najazd na punkt referencyjny, gdzie odbywa się zerowanie, bazowanie układu pomiarowego.

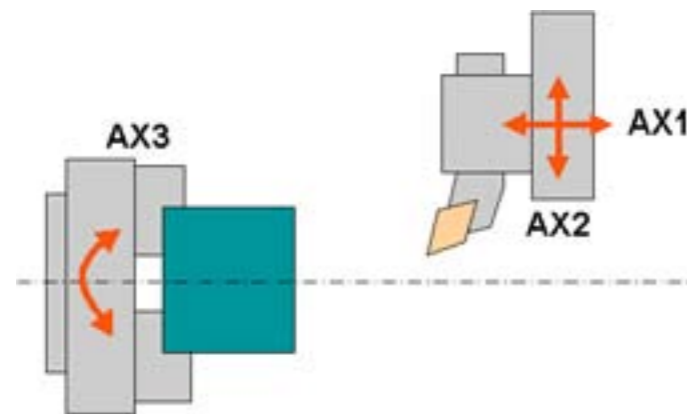
4.4.1. Układy współrzędnych

Podstawą do programowania procesu obróbki jest zdefiniowanie układu współrzędnych. Na każdej obrabiarce istnieje wiele układów współrzędnych. Na szczególną uwagę zasługują trzy z nich:

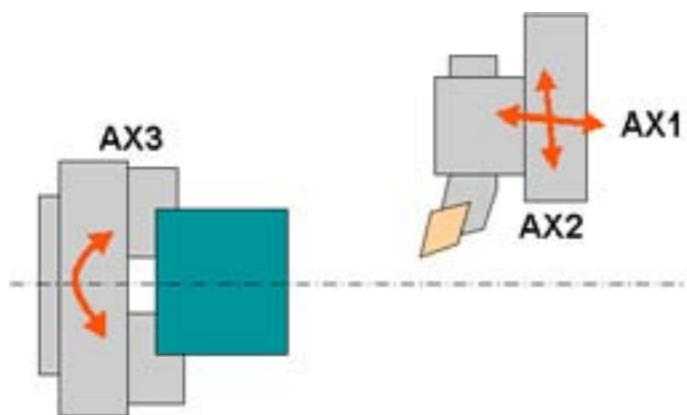
- maszynowy układ współrzędnych,
- bazowy (podstawowy) układ współrzędnych,
- układ współrzędnych przedmiotu.

1. Maszynowy układ współrzędnych (MKS, niem. *Maschinen Koordinaten Systeme*)[6] – jest to układ współrzędnych zbudowanych z osi sterowanych numerycznie.

Układ maszynowy jest odniesiony do konstrukcji konkretnej obrabiarce i nie jest objęty normami. Układ maszynowy jest układem rzeczywistym, a to oznacza, że jest obciążony różnego rodzaju błędami wykonawczymi. Obróbka przy wykorzystaniu takiego układu wyklucza uzyskanie wysokiej jakości produktów. Jeżeli jednak wspomniane błędy są znane przez układ sterowania to drogą programowania mogą zostać skompensowane.



Rys. 4.31 Maszynowy układ współrzędnych na przykładzie tokarki [6]



Rys. 4.32 Rzeczywisty układ osi maszynowych (przykład) [6]

2. Bazowy (podstawowy) układ współrzędnych (BKS, niem. *Basis Koordinaten Systeme*) [6] – prostokątny, prawoskrętny układ współrzędnych, stanowiący podstawę do programowania.

Jest odniesiony do przedmiotu zamocowanego na obrabiarce, traktowanego jako nieruchomy, przy poruszającym się narzędziu (zakłada się względny ruch narzędzia względem przedmiotu obrabianego).

Jest związany z układem maszynowym poprzez transformacje kinematyczne, odwzorowujące układ bazowy na osie maszynowe (np. osie sferycznego układu współrzędnych robota, transformacja we frezarce 5-osiowej itp.).

W najprostszym przypadku układ bazowy (tokarki, frezarki) jest tożsamy z układem maszynowym – brak transformacji kinematycznych.

W układzie bazowym są definiowane korektory narzędziowe, wyznaczana jest kompensacja promienia narzędzia, wyznaczane są transformacje układu przedmiotu, ustawiane są granice obszaru obróbki oraz wykonywane są wszystkie obliczenia toru ruchu narzędzia.

Wymagania stawiane układowi bazowemu są unormowane.

Układ bazowy jest **zdefiniowany przez producenta układu sterowania**, zadaniem producenta obrabiarce, którą on steruje, jest powiązanie układu maszynowego i bazowego poprzez tzw. dane maszynowe.

3. Układ współrzędnych przedmiotu (WKS, niem. *Werkstück Koordinaten Systeme*) – prostokątny, prawoskrętny układ współrzędnych, związany z przedmiotem obrabianym, służący do programowania obróbki, zapisanej w postaci programu sterującego. Jest przekształconym układem bazowym poprzez definicję tzw. FRAMES, będących matematycznymi formułami przekształcającymi układy współrzędnych z wykorzystaniem czterech podstawowych działań:

- translacji o wektor,
- obrotu wokół osi,
- symetrii osiowej (odbicia lustrzanego),
- skalowania osi.

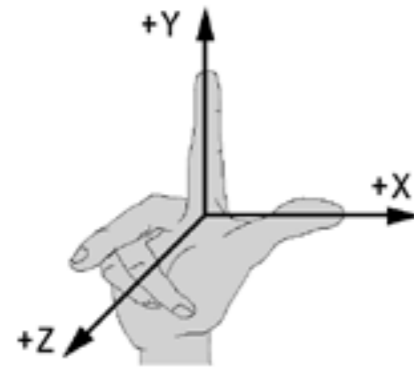
Definiowanie układów współrzędnych

Przy definicji układów współrzędnych, dotyczy to przede wszystkim układu bazowego i układu przedmiotu, są stosowane pewne zasady, pozwalające na ich unifikację.

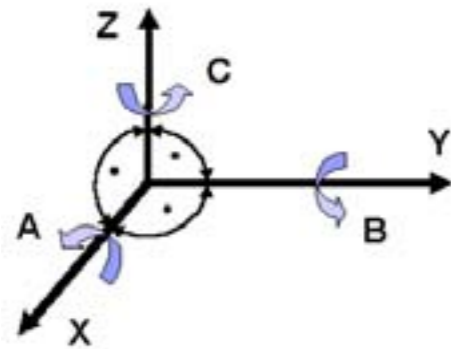
Zasady te są zawarte w normach. W Polsce jest to norma M-55251, oparta na normie DIN 66217 oraz na normach międzynarodowych (ISO).

Podstawowe zasady definiowania układów współrzędnych są następujące:

- osie układu współrzędnych są odniesione do przedmiotu obrabianego,
- przyjmuje się przedmiot obrabiany za nieruchomy, porusza się tylko narzędzie (układ współrzędnych może się przemieszczać z przedmiotem obrabianym),
- podstawowym układem jest prostokątny, prawoskrętny układ współrzędnych,
- za podstawowe przyjmuje się nazwy osi liniowych X, Y i Z. W szczególnych przypadkach osie mogą przyjmować inne nazwy, np. U, V, W, P, Q, R,
- sterowane numerycznie osie obrotowe przyjmują nazwy A, B, C. Są one związane z osiami liniowymi (A obrót wokół X, B wokół Y, C wokół Z),
- zwroty dodatnie przyjmuje się zgodnie z regułą śruby prawoskrętnej,
- jeżeli osie związane są z ruchem przedmiotu obrabianego przyjmują indeks ' (np. X') i zwrot przeciwny do zwrotu danej osi sterowanej numerycznie (np. X).



Rys. 4.33 Układ i oznaczenia osi prostokątnego, prawoskrętnego układu współrzędnych [6]



Rys. 4.34 Zasada prawej dłoni przy wyznaczaniu zwrotów osi [6]

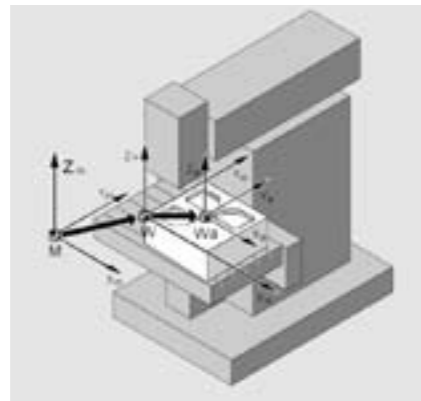
Kierunki osi:

W pierwszej kolejności definiuje się kierunek osi Z, który powinien być zgodny lub pokrywać się z osią wrzeciona głównego (przedmiotowego lub narzędziowego). W drugiej kolejności definiuje się kierunek osi X. Jest on prostopadły do kierunku osi Z i na ogół leży w płaszczyźnie równoległej do płaszczyzny mocowania przedmiotu lub prowadnic obrabiarki związanych ze stołem przedmiotowym. W trzeciej kolejności wyznacza się kierunek osi Y korzystając z właściwości prostopadłości osi układu współrzędnych [6].

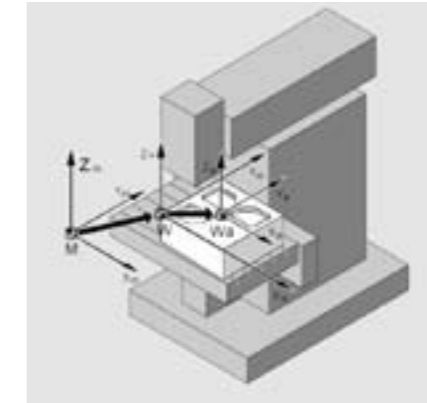
Zwroty osi:

Za zwrot dodatni osi uważa się taki, z którym związany jest ruch od strony przedmiotu obrabianego (ruch do materiału wg ujemnego zwrotu osi). Zwroty osi należy tak ustalić, aby spełniały warunek prawoskrętności (reguła śruby prawoskrętnej lub prawej dłoni).

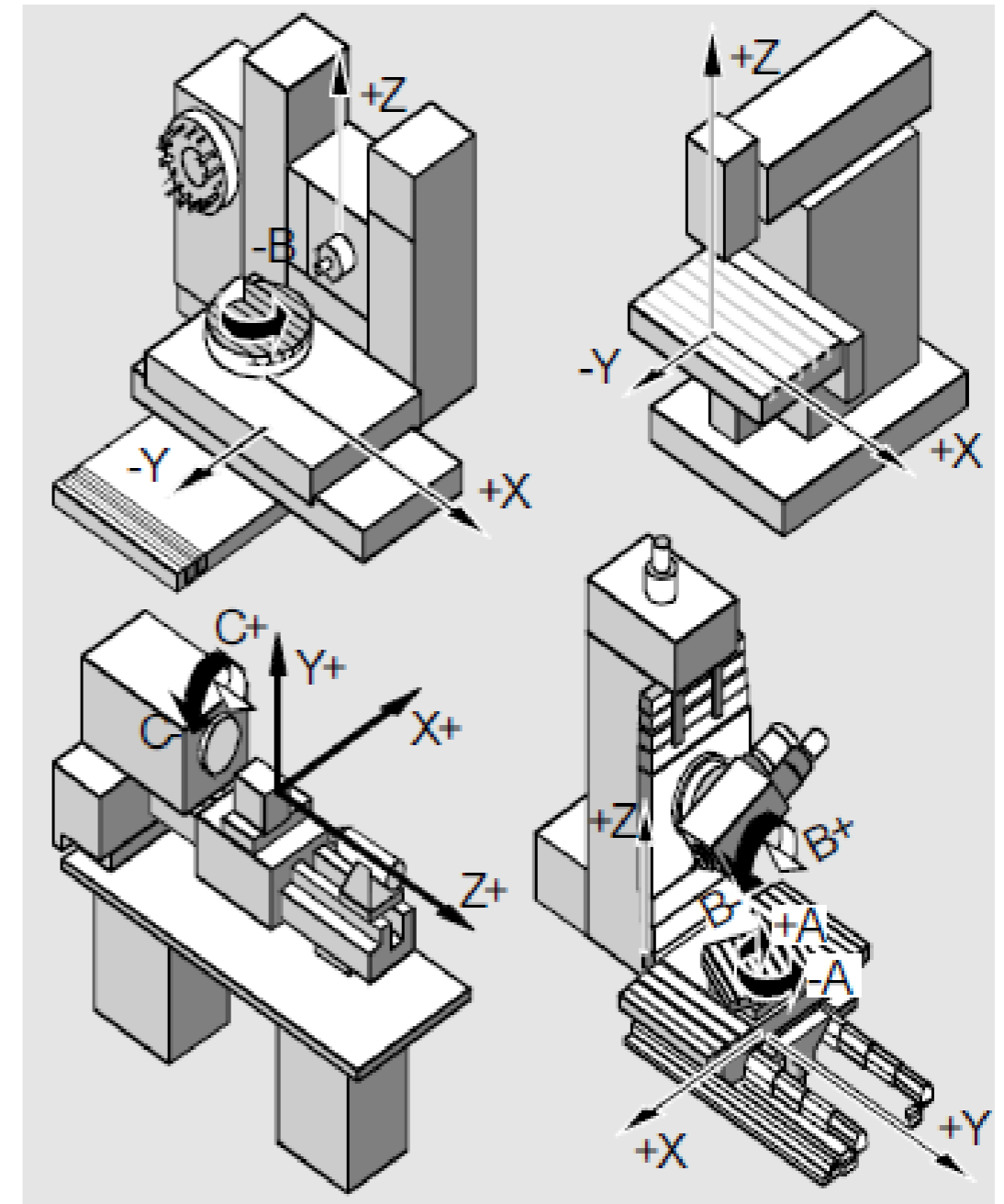
Układy współrzędnych wybranych maszyn pokazano narysunkach 4.35 – 4.37.



Rys. 4.35 Układy współrzędnych frezarki. [6]



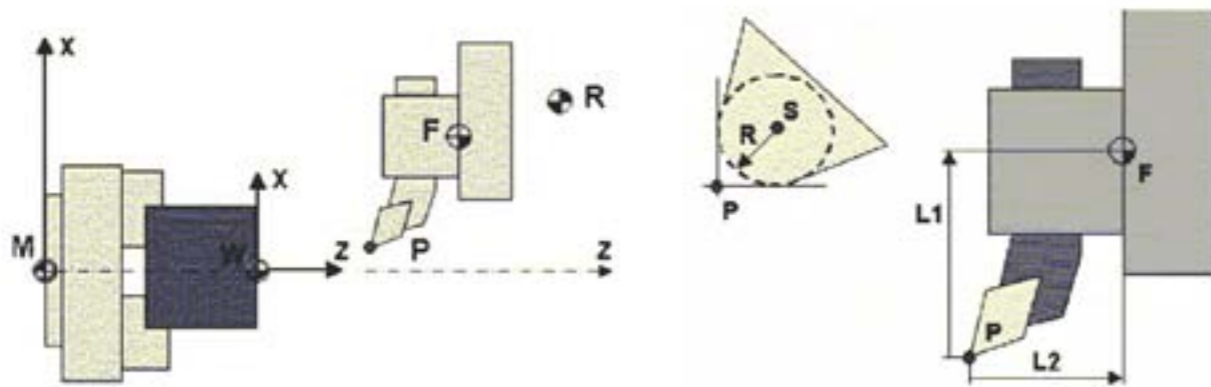
Rys. 4.36 Układ współrzędnych tokarki [6]



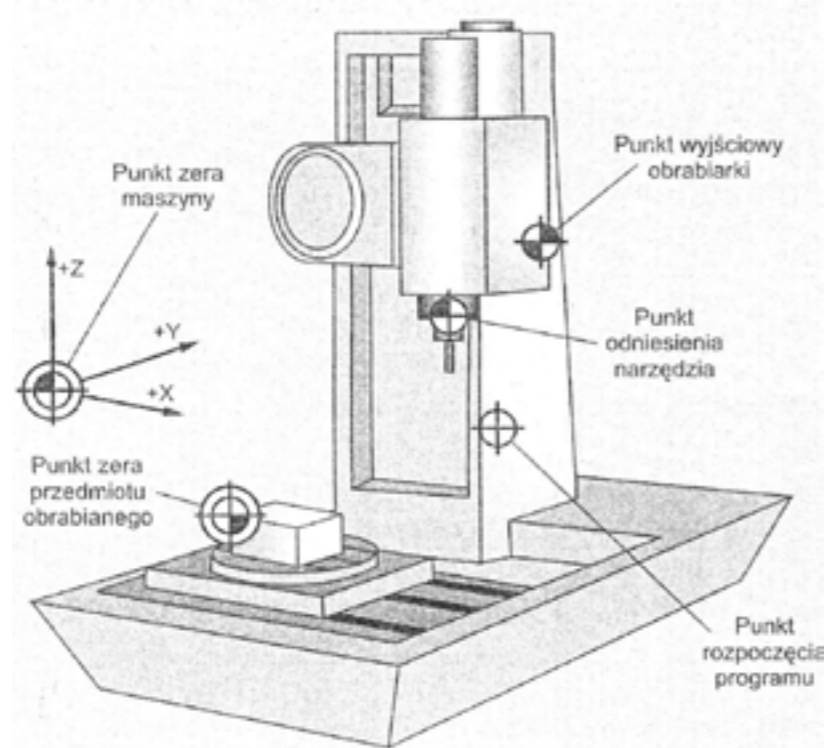
Rys. 4.37 Układy współrzędnych różnych typów maszyn [6]

4.4.2. Punkty charakterystyczne obrabiarki

Każda obrabiarka posiada charakterystyczne punkty odnoszące się do zdefiniowanych wcześniej układów współrzędnych. Punkty charakterystyczne obrabiarki definiuje norma: PN-ISO 3002. Charakterystyczne punkty związane z tokarką sterowaną numerycznie pokazano i nazwano na rysunku 4.38, a rozmieszczenie punktów charakterystycznych dla frezarki pokazuje rysunek 4.39.



Rys. 4.38 Punkty związane z tokarką sterowaną numerycznie: M- punkt zerowy maszyny W-punkt zerowy przedmiotu obrabianego; F – punkt odniesienia narzędzia P – punkt charakterystyczny narzędzia R – punkt referencyjny maszyny [6]



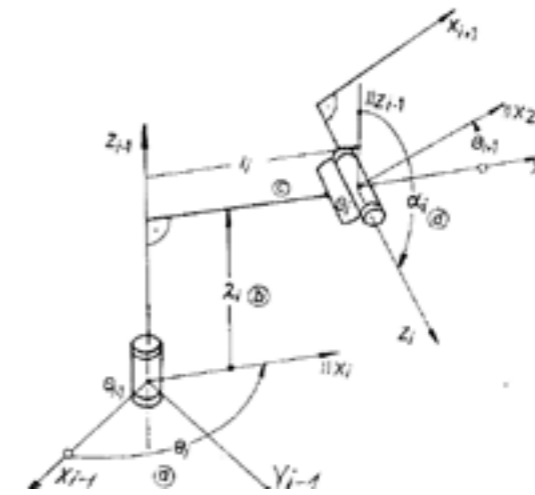
Rys. 4.39 Rozmieszczenie punktów charakterystycznych dla frezarki [2]

4.4.3. Zapis układów współrzędnych na wielocłonowych manipulatorach robotów przemysłowych

Odmienny niż w typowych obrabiarkach do obróbki skrawaniem jest zapis układów współrzędnych na członach robotów przemysłowych. Układy te służą do opisu położenia i orientacji członów względem siebie, a także do określenia położenia i orientacji członów względem globalnego układu współrzędnych związanego podstawą robota lub odniesionego do położenia charakterystycznych punktów linii produkcyjnej obsługiwanej przez robota. Szczególne znaczenie ma tu położenie i orientacja chwytaka robota w którym zamocowane są narzędzia do technologiczne.

Przekształceniem albo transformacją nazywa się zależności opisujące przejście z jednego układu współrzędnych do drugiego. W celu uproszczenia analizy kinematycznej przestrzennego łańcucha kinematycznego robota wprowadza się specjalne usytuowanie układów współrzędnych poszczególnych ogniw tak, aby liczba parametrów wchodzących do macierzy przekształceń była minimalna, a postać tej macierzy była jednakowa tak dla pary obrotowej jak i przestrzennej.

Najczęściej stosowany jest sposób usytuowania wzajemnego układów współrzędnych ogniw połączonych parami obrotowymi i przesuwными znany jako zapis Hartenberga i Denavita.



Rys. 4.40 Zapis układów współrzędnych wg Denavita – Hartenberga

Na rys. 4.40 przedstawiono dwa układy współrzędnych związane z ogniwami „i-1” oraz „i”, przy czym oś X_{i-1} leży na wspólnej prostopadłej do osi par obrotowych ogniwa „i-1”, oś Z_{i-1} leży na osi pary obrotowej łączącej ogniwa „i-1” oraz „i”, oś y_{i-1} stanowi uzupełnienie prawoskrętnego układu współrzędnych „i-1”. Układ współrzędnych związany z ogniwem „i” jest usytuowany w podobny sposób tzn. oś X_i leży na wspólnej prostopadłej do osi par obrotowych ogniwa „i”, oś Z_i leży na osi pary obrotowej łączącej ogniwo „i” z ogniwo „i-1”.

Zaletą takiego usytuowania układów współrzędnych jest to, że tylko cztery parametry określają względne usytuowanie dwóch sąsiednich układów, przy czym dwa z nich tzn. l_i i α_i są zawsze stałe, a jeden z pozostałych jest zmienny w zależności od typu pary kinematycznej.

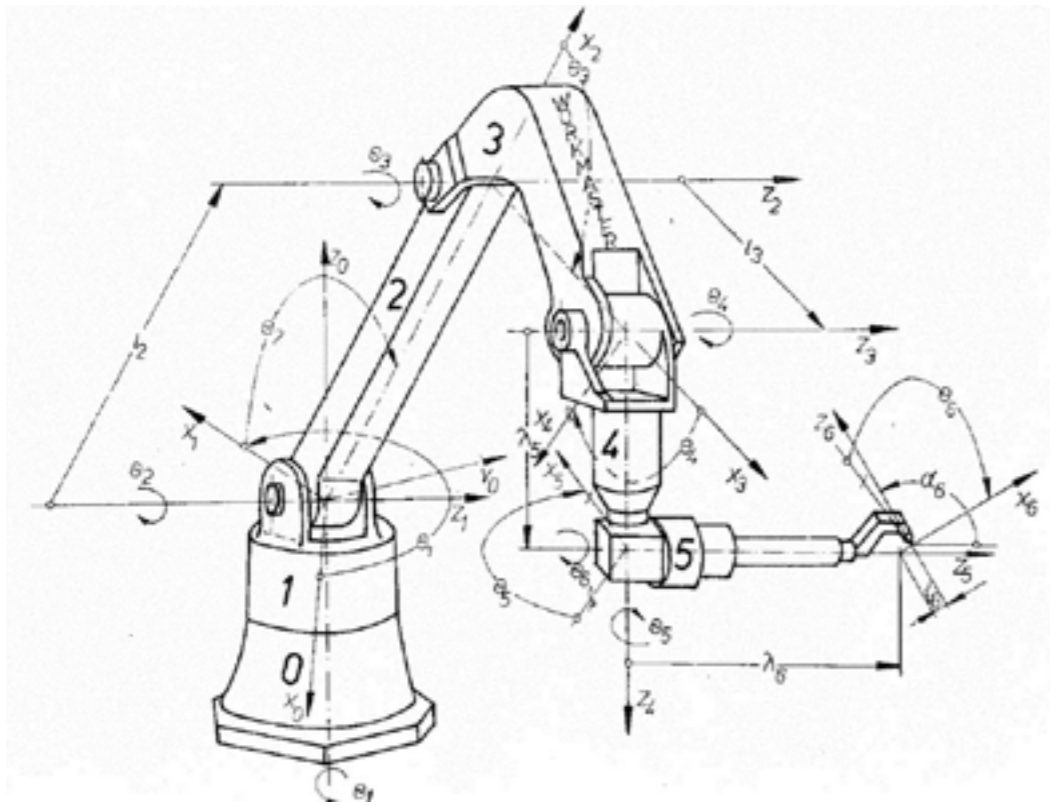
W przypadku pary obrotowej zmiennym będzie kąt Θ_i , a w przypadku pary przesuwnej przesunięcie λ_i .

Dwa sąsiednie układy współrzędnych „i-1” i „i” mogą być przekształcone jeden w drugi za pomocą obrotu, dwóch przesunięć i jeszcze jednego obrotu w następującej kolejności:

- obrót wokół osi Z_{i-1} o kąt Θ_i , aż oś X_{i-1} stanie się równoległa do osi X_i ,

- przesunięcie wzdłuż osi Z_{i-1} o wielkość λ_i tak, aby oś X_{i-1} pokryła się z osią X_i ,
- przesunięcie wzdłuż osi X_i o wielkości l_i tak, aby początki obu układów pokryły się,
- obrót wokół osi X_i o kąt α_i , aż wszystkie osi będą się pokrywać.

Praktyczne ułożenie osi na rysunku mechanizmu przestrzennego przedstawia rys.4.41



Rys.4.41 Praktyczne ułożenie osi na rysunku robota

Macierzowa metoda analizy położeń

Metoda macierzowa analizy położeń jest oparta na przekształceniach układów współrzędnych związanych z poszczególnymi ogniwami mechanizmu robota.

Każdemu z elementarnych ruchów odpowiada macierz przekształcenia A_i , przy czym:

$$A_i^a = \begin{bmatrix} c\Theta_i & -s\Theta_i & 0 & 0 \\ s\Theta_i & c\Theta_i & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad A_i^b = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & \lambda_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

a) obrót wokół osi Z_{i-1} o kąt Θ_i b) przesunięcie wzdłuż osi Z_{i-1} o wielkość λ_i

$$A_i^c = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & l_i \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad A_i^d = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & c\alpha_i & -s\alpha_i & 0 \\ 0 & s\alpha_i & c\alpha_i & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

c) przesunięcie wzdłuż osi X_i o wielkości l_i d) obrót wokół osi X_i o kąt α_i

Macierz A_i opisująca przekształcenie układu „i-1” do układu „i” będzie równa iloczynowi wyżej wymienionych macierzy ruchów elementarnych.

$$A_i = A_i^a \cdot A_i^b \cdot A_i^c \cdot A_i^d$$

Po wykonaniu mnożenia macierzy zaczynając od prawej strony otrzymuje się:

$$A_i = \begin{bmatrix} c\Theta_i & -s\Theta_i c\alpha_i & s\Theta_i s\alpha_i & l_i c\Theta_i \\ s\Theta_i & c\Theta_i c\alpha_i & -c\Theta_i s\alpha_i & l_i s\Theta_i \\ 0 & s\alpha_i & c\alpha_i & \lambda_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

przy czym:

$$c\Theta_i = \cos\Theta_i, \quad s\Theta_i = \sin\Theta_i$$

$$c\alpha_i = \cos\alpha_i, \quad s\alpha_i = \sin\alpha_i$$

l_i α_i – odległość i kąt między osiami par obrotowych ogniwa „i”,

λ_i Θ_i – odległość i kąt obrotu między ogniwami „i-1” i „i”.

W przypadku pary obrotowej kąt Θ_i jest zmienny, a odległość λ_i stała. W przypadku pary przesuwnej na odwrót, zmienna jest odległość λ_i , a stały kąt Θ_i .

Macierz przekształcenia odwrotnego tzn. układu współrzędnych ogniwa „i” do układu ogniwa „i-1” otrzymuje się jako rozwiązanie równania macierzowego.

$$A_i^{-1} \cdot A_i = E$$

gdzie: E – macierz jednostkowa

stąd:

$$A_i^{-1} = \begin{bmatrix} c\Theta_i & s\Theta_i & 0 & -l_i \\ -s\Theta_i c\alpha_i & c\Theta_i c\alpha_i & s\alpha_i & -\lambda_i s\alpha_i \\ s\Theta_i s\alpha_i & -c\Theta_i s\alpha_i & c\alpha_i & -\lambda_i c\alpha_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Dla otwartego łańcucha kinematycznego manipulatora wprowadza się macierz położenia i orientacji układu współrzędnych związanego z ogniwem „n” względem układu związanego z ogniwem „i” jako iloczyn macierzy kolejnych przekształceń:

$$T_{n,i} = A_{i+1} \cdot A_{i+2} \cdot \dots \cdot A_n \quad (5)$$

przy czym: $T_{i,i+1} = A_{i+1}$

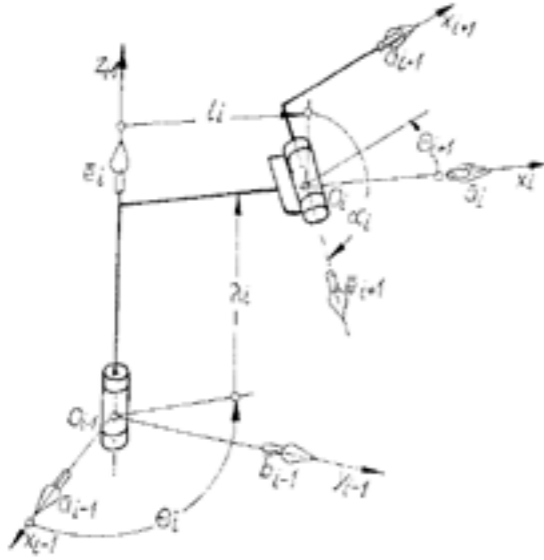
Dla zamkniętego łańcucha kinematycznego, mającego „n” ogniw wprowadza się równanie zamknięcia w postaci:

$$A_1 \cdot A_2 \cdot \dots \cdot A_i \cdot \dots \cdot A_n = E \quad (6)$$

gdzie: E – macierz jednostkowa.

Wektorowa metoda analizy położeń

Przedstawiona dotychczas macierzowa metoda analizy kinematycznej mechanizmów przestrzennych o „n” stopniach swobody jest pod względem matematycznym wygodna w użyciu, wymaga jednak mnożenia „n” macierzy transformacji jednorodnych (4x4), a rozwiązanie w postaci jawnej uzyskuje się tylko dla niektórych mechanizmów o szczególnym usytuowaniu osi. Zastosowanie metody wektorowej umożliwia uproszczenie w wielu przypadkach algorytmu obliczeń. Ponadto wektorowe funkcje położeń można różniczkować w celu wyznaczenia prędkości i przyspieszeń oraz analizy położeń osobliwych, w których może wystąpić zmiana konfiguracji członów.



Rys. 4.42 Względne usytuowanie osi par kinematycznych i położenie ogniw przestrzennego łańcucha kinematycznego

Względne usytuowanie osi par kinematycznych i położenie ogniw przestrzennego łańcucha kinematycznego można opisać za pomocą następujących iloczynów skalarnych i wektorowych.

$$\mathbf{e}_i \bullet \mathbf{e}_{i+1} = c\alpha \quad , \quad \mathbf{e}_i \times \mathbf{e}_{i+1} = \mathbf{a}_i \bullet s\alpha$$

$$\mathbf{a}_i \bullet \mathbf{a}_{i+1} = c\Theta_{i+1} \quad , \quad \mathbf{a}_i \times \mathbf{a}_{i+1} = \mathbf{e}_{i+1} \bullet s\Theta_{i+1}$$

gdzie:

$$c\alpha = \cos \alpha \quad , \quad s\alpha = \sin \alpha$$

$$c\Theta_i = \cos \Theta_i \quad , \quad s\Theta_{i+1} = \sin \Theta_{i+1}$$

Z powyższego układu równań można wyprowadzić następujące zależności

$$\mathbf{e}_{i+1} = \mathbf{e}_i \bullet c\alpha + (\mathbf{a}_i \times \mathbf{e}_i) \bullet s\alpha \quad ,$$

$$\mathbf{a}_{i+1} = \mathbf{a}_i \bullet c\Theta_{i+1} + (\mathbf{e}_{i+1} \times \mathbf{a}_i) \bullet s\Theta_{i+1}$$

gdzie:

\mathbf{e}_i – wektor osi pary kinematycznej łączącej ogniwo „i” z ogniwo „i-1”,

\mathbf{a}_i – wektor prostopadłej do osi par kinematycznych ogniwa „i”,

α_i – kąt zawarty między osiami par kinematycznych ogniwa „i”, które mogą być usytuowane skośnie,

Θ_i – kąt obrotu względnego ogniw „i-1” i „i”.

(Występuje tu analogia z usytuowaniem osi układu współrzędnych Hartenberga i Denavita w metodzie macierzowej).

Kąty α_i i Θ_i przyjmuje się jako kąty skierowane. Ich zwroty określa się wg reguły śruby prawoskrętnej np. zwrot kąta określa się tak, aby trójka wektorów $\mathbf{e}_i, \mathbf{e}_{i+1}, \mathbf{a}_i$ tworzyła układ prawoskrętny.

W podobny sposób określa się zwrot kąta Θ_i tak, aby trójka wektorów $\mathbf{a}_{i-1}, \mathbf{a}_i, \mathbf{e}_i$ tworzyła układ prawoskrętny.

W przypadku, gdy znane są dwa wektory $\mathbf{e}_i, \mathbf{e}_j$ oraz kąty jakie tworzą z trzecim nieznanym wektorem \mathbf{e}_k , wtedy stosując wzór Chace’a można otrzymać:

$$\mathbf{e}_k = \left[(c_{ik} - c_{ij}c_{jk})\mathbf{e}_i + (c_{jk} - c_{ij}c_{ik})\mathbf{e}_j \pm \sqrt{D_{ij}}(\mathbf{e}_i * \mathbf{e}_j) \right] / (1 - c_{ij}^2)$$

gdzie:

$$D_{ij} = 1 - c_{ij}^2 - c_{ik}^2 - c_{jk}^2 + 2c_{ij} \bullet c_{ik} \bullet c_{jk} \quad ,$$

(9)

$$c_{ij} = \mathbf{e}_i \bullet \mathbf{e}_j \quad , \quad c_{ik} = \mathbf{e}_i \bullet \mathbf{e}_k \quad , \quad c_{jk} = \mathbf{e}_j \bullet \mathbf{e}_k$$

Znak „+” przed $\sqrt{D_{ij}}$ gdy układ $\mathbf{e}_i, \mathbf{e}_j, \mathbf{e}_k$ jest prawoskrętny, „-” gdy lewoskrętny.

W wielu przypadkach analizy pracy robotów wykorzystuje się równanie zamknięcia łańcucha kinematycznego, które można zapisać w postaci równania wektorowego:

$$\sum_{i=1}^n (\lambda_i \bullet \mathbf{e}_i + l_i \bullet \mathbf{a}_i) = 0$$

gdzie:

λ_i – odległość między ogniwami „i-1” i „i” mierzona wzdłuż osi pary łączącej te ogniwa. W przypadku pary przesuwnej λ_i jest zmienną. W przypadku pary obrotowej $\lambda_i = \text{const}$.

l_i – odległość między osiami par kinematycznych ogniwa „i”.

W przypadku, gdy jedna z par kinematycznych ogniwa „i” jest przesuwna, $l_i = 0$.

Z powyższego równania wektorowego można wyznaczyć jeden niewiadomy wektor lub trzy niewiadome wartości skalarów (długości i kątów).

Położenie środka chwytaka robota można wyznaczyć z zależności:

$$\sum_{i=1}^n (\lambda_i \bullet \mathbf{e}_i + l_i \bullet \mathbf{a}_i) = \mathbf{p}_p \bullet \mathbf{e}_p$$

gdzie:

\mathbf{e}_p – wektor promienia \mathbf{P}_p określającego położenie środka chwytaka.

Dostosowując metodę wektorową do rozwiązywania zadań przy użyciu EMC układ równań wektorowych zapisuje się w postaci analitycznej. Wektory rzutuje się na osie układu współrzędnych X_0, Y_0, Z_0 związanego z początkowym ogniwo (zerowym, $i=0$) – będzie to najczęściej podstawa robota. Z rysunków pomocniczych wynika, że osiom X_0, Y_0, Z_0 przyporządkowane są odpowiednio wektory $\mathbf{a}_0, \mathbf{b}_0, \mathbf{e}_1$.

Wtedy:

$$e_{i+1} = e_i \cdot c\alpha_i + (a_i \times e_i) \cdot s\alpha_i =$$

$$= e_{ix} \cdot c\alpha_i + e_{iy} \cdot c\alpha_i + e_{iz} \cdot c\alpha_i + \begin{vmatrix} a_0 & b_0 & e_1 \\ a_{ix} & a_{iy} & a_{iz} \\ e_{ix} & e_{iy} & e_{iz} \end{vmatrix} \cdot s\alpha_i$$

Z powyższego:

$$e_{(i+1)x} = e_{ix} \cdot c\alpha_i + (a_{iy} \cdot e_{iz} - e_{iy} \cdot a_{iz}) \cdot s\alpha_i$$

$$e_{(i+1)y} = e_{iy} \cdot c\alpha_i + (a_{iz} \cdot e_{ix} - e_{iz} \cdot a_{ix}) \cdot s\alpha_i$$

$$e_{(i+1)z} = e_{iz} \cdot c\alpha_i + (a_{ix} \cdot e_{iy} - e_{ix} \cdot a_{iy}) \cdot s\alpha_i$$

gdzie:

e_{ix}, e_{iy}, e_{iz} – rzuty wektora e_i odpowiednio na osie X_0, Y_0, Z_0 ,
 a_{ix}, a_{iy}, a_{iz} – rzuty wektora a_i odpowiednio na osie X_0, Y_0, Z_0 ,

analogicznie dla wektora a_{i+1} .

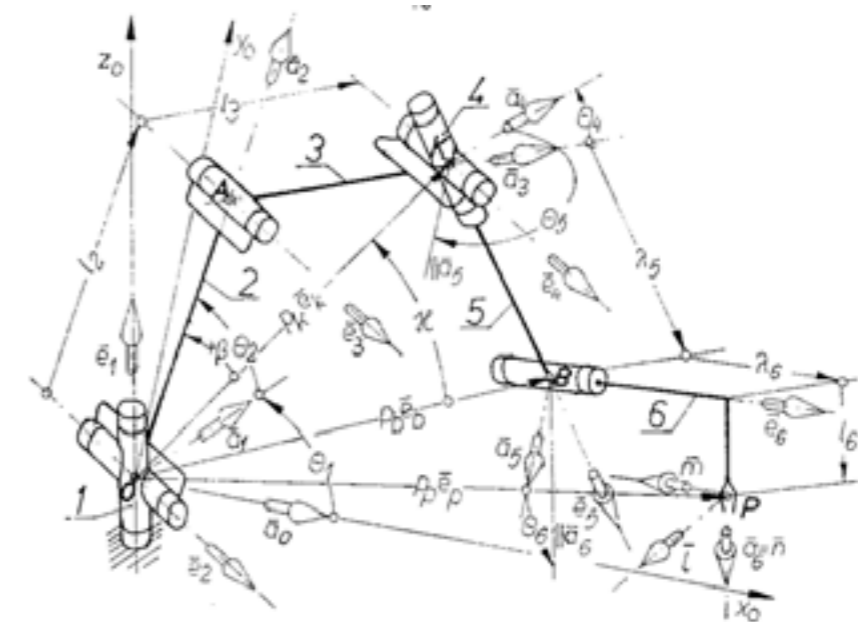
$$a_{i+1} = a_i \cdot c\Theta_{i+1} + (e_{i+1} \times a_i) \cdot s\Theta_{i+1} = a_{ix} \cdot c\Theta_{i+1} + a_{iy} \cdot c\Theta_{i+1} + a_{iz} \cdot c\Theta_{i+1} + \begin{vmatrix} a_0 & b_0 & e_1 \\ e_{(i+1)x} & e_{(i+1)y} & e_{(i+1)z} \\ a_{ix} & a_{iy} & a_{iz} \end{vmatrix} \cdot s\Theta_{i+1}$$

$$a_{(i+1)x} = a_{ix} \cdot c\Theta_{i+1} + (e_{(i+1)y} \cdot a_{iz} - e_{(i+1)z} \cdot a_{iy}) \cdot s\Theta_{i+1}$$

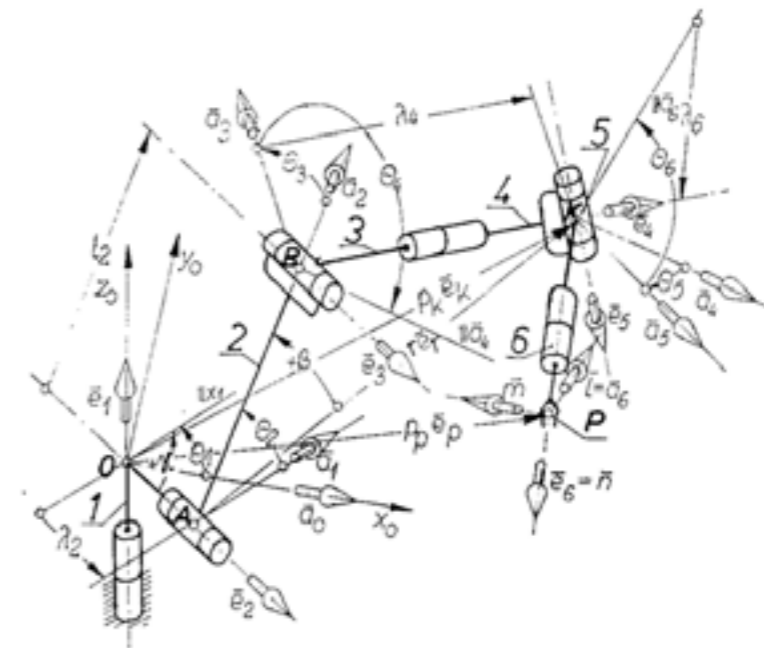
$$a_{(i+1)y} = a_{iy} \cdot c\Theta_{i+1} + (e_{(i+1)z} \cdot a_{ix} - e_{(i+1)x} \cdot a_{iz}) \cdot s\Theta_{i+1}$$

$$a_{(i+1)z} = a_{iz} \cdot c\Theta_{i+1} + (e_{(i+1)x} \cdot a_{iy} - e_{(i+1)y} \cdot a_{ix}) \cdot s\Theta_{i+1}$$

Powtarzając procedurę obliczeń od $(i=1)$ do $(n-1)$ gdzie n – liczba członów czynnych mechanizmu, oblicza się orientację n – tego układu współrzędnych związanego z n – tym członem względem układu X_0, Y_0, Z_0 .



Schemat kinematyczny manipulatora ASEA.



Schemat kinematyczny manipulatora PUMA.

Rys. 4.43 Schematy kinematyczne manipulatorów z naniesionymi osiami układów współrzędnych

4.5 Literatura

1. Marek Gawrysiak: Mechatronika i projektowanie mechatroniczne. Wprowadzenie. Białystok 1997.
2. Witold Habrat: Obsługa i programowanie obrabiarek CNC. Podręcznik operatora. Wadawnictwo „KaBe” Krosno 2007.
3. Katalog Garant Poradnik obróbki skrawaniem.
4. Ryszard Markiewicz: Podstawy mechatroniki – istota mechatroniki. <http://wloscianska.strefa.pl/download/podstawy%20mechatroniki.pdf>.
5. Adam Morecki, Józef Knapczyk: Podstawy robotyki. Teoria i elementy manipulatorów i robotów. WNT Warszawa 1999.
6. Grzegorz Nikiel: Programowanie obrabiarek CNC na przykładzie układu sterowania Sinumerik 810D/840D Bielsko-Biała 2004.
7. SINUMERIK 840D/840Di/810D –Podstawy. Instrukcja programowania Dokumentacja użytkownika. Wydanie 03.04.
8. Marek Staszyński: Poziome centra obróbcze sterowane Numerycznie. Projektowanie i Konstrukcje Inżynierskie wrzesień 2008. www.konstrukcjeinzynierskie.pl.
9. Jan Szadkowski, Roman Stryczek, Grzegorz Nikiel: projektowanie procesów technologicznych na obrabiarki sterowane numerycznie bielsko-biała 1995.
10. Zasada M.: Wprowadzenie do obrabiarek sterowanych numerycznie, Szczecin 2004.
11. http://www.eurometal.com.pl/_pd,pl/88,212/Pionowe_centra_obr%C3%B3bce_seria_VL-VH.html.
12. <http://technologialaserowa.republika.pl/spawanie.html#glowica>.
13. <http://www.mazaklaser.pl/?prasy-krawedziowe,51>.
14. <http://www.techjet.eu/produkt/pompa-wp7540>.
15. <http://www.techjet.eu/waterjet/technologie>.
16. <http://netspaw.pl/ciecie-plazma-przewodnik-po-technologie,38.html>.
17. http://www.polsver.pl/index.php?strona=oferta&id_kat=1&id_prod=4&id_producenta=2.
18. <http://cnc.pl/budowa-funkcje-cnc.php>.
19. <http://cnc.pl/zespoly-obrabiarek-cnc.php>.
20. <http://www.hoffmann-group.com/pl/kompetencja-producenta/garant-wyposazenie-warsztatow.html>.
21. <http://www.hs-maschinenteknik.com/cms/website.php?id=/pl/maschinen/mazak/2d-bearbeitung/hypergear.htm>.
22. <http://www.stigal.pl/?p=pl/menu/02/index>.
23. <http://www.techjet.eu/>.
24. <http://www.kimla.pl/produkt-24-Grawerka-CNC-Blackbox>.

Rozdział III. PODSTAWY OBRÓBKI SKRAWANIEM NA OSN

5. OBRÓBKA SKRAWANIEM NA OSN

5.1 Rodzaje obróbek realizowanych na OSN; Możliwości technologiczne obrabiarek sterowanych numerycznie

Dlaczego mówimy o obróbce skrawaniem na obrabiarkach sterowanych numerycznie? Jeżeli weźmiemy pod uwagę którąkolwiek z definicji obróbki skrawaniem, to prawdziwe będzie równanie:

Obróbka skrawaniem na obrabiarkach konwencjonalnych = Obróbka skrawaniem na OSN

W obu przypadkach zachodzą te same procesy.

W związku z tym, że obecnie sterowanie stosowane jest praktycznie we wszystkich rodzajach obrabiarek mamy do czynienia z następującymi rodzajami obróbek realizowanych na obrabiarkach SN:

- toczenie na tokarkach SN,
- frezowanie na frezarkach SN i centrach obróbczych,
- frezowanie toczne na centrach obróbczych,
- frezowanie gwintów na centrach obróbczych,
- frezowanie wgłębne na centrach obróbczych,
- wytaczanie na centrach obróbczych,
- wiercenie na tokarkach SN i centrach obróbczych,
- rozwiercanie na tokarkach SN i centrach obróbczych,
- gwintowanie na tokarkach SN i centrach obróbczych,
- obróbka kół zębatach na wszelkiego rodzaju obrabiarkach SN do obróbki uzębień (frezarkach obwodniowych, dłutownicach, wiórkarkach itp.),
- cięcie na piłach.

Pierwsze obrabiarki SN powstały po II wojnie światowej w Stanach Zjednoczonych. Miały za zadanie zastąpić wykwalifikowanych pracowników (tokarzy, frezerów), pracownikami przeszkolonymi (często kobietami), w przemyśle zbrojeniowym. Od tamtego czasu rozwój obróbki skrawaniem odbywał się dwoma drogami. Rozwijała się zarówno obróbka skrawaniem na obrabiarkach konwencjonalnych jak i na obrabiarkach SN. W obu przypadkach rozwój wymuszany był względami ekonomicznymi. Chodziło o to, aby zmniejszyć koszty wytwarzania. Taniej wykonać detale i podzespoły. Szybciej (przed konkurencją) wdrożyć do produkcji i wprowadzić na rynek nowe produkty.

Tak naprawdę to dopiero bardzo dynamiczny rozwój elektroniki i informatyki zdecydował o tym, że obróbka na obrabiarkach konwencjonalnych jest dzisiaj niszowa, i ma coraz mniejsze zastosowanie.

Aby zrozumieć sukces obrabiarek sterowanych numerycznie trzeba prześledzić drogi rozwoju, zarówno obrabiarek konwencjonalnych jak i obrabiarek SN.

W celu podniesienia wydajności rozwijały się następujące grupy obrabiarek:

Obrabiarki konwencjonalne:

1. tokarki wielonarzędziowe,
2. tokarki kopiarki,
3. tokarki rewolwerowe,
4. automaty i półautomaty tokarskie,
5. wiertarki rewolwerowe,
6. wiertarki wielowrzecionowe,
7. wiertarko wytaczarki współrzędnościowe,
8. frezarko kopiarki,
9. strugarki i dłutownice,
10. przecinarki,
11. pilnikarki,
12. przeciągarki,
13. szlifierki,
14. obrabiarki do uzębień,
15. obrabiarki wielooperacyjne.

Obrabiarki Sterowane Numerycznie:

1. tokarki SN,
2. centra obróbcze poziome,
3. centra obróbcze pionowe,
4. przecinarki taśmowe,
5. przeciągark,
6. szlifierki SN,
7. obrabiarki do uzębień SN.

Aby nie zagłębiać się w szczegóły budowy i charakterystykę poszczególnych Grup obrabiarek, spróbujmy odpowiedzieć na następujące pytanie:

Jakie są wspólne cechy tych obrabiarek dla wszystkich grup?

Obrabiarki konwencjonalne:

- W większości z nich jest jedna jednostka napędowa.
- Poszczególne ruchy obrabiarka realizuje poprzez bardzo skomplikowane mechanizmy (skrzynki prędkości, skrzynki posuwów, sprzęgła itp.). Schematy kinematyczne niektórych z tych obrabiarek są naprawdę imponujące.
- Ograniczona ilość obrotów i posuwów (zawsze stopniowe).
- Ruchy możliwe do wykonania przez obrabiarkę określane są na etapie projektowania obrabiarki.

Obrabiarki Sterowane Numerycznie:

- W trójwymiarowej przestrzeni roboczej (wielkość charakterystyczna dla każdej obrabiarki), może ona wykonywać niezależne ruchy dzięki jednostkom napędowym zainstalowanym na każdej z osi.
- Wrzeciono robocze to również niezależny napęd. Obecnie standardowe rozwiązania to silnik asynchroniczny i pasek zębaty, a coraz częściej elektrowrzeciono. Takie rozwiązania pozwalają na bezstopniową regulację obrotów w dużym zakresie bez użycia elementów pośrednich w postaci skrzynek prędkości.
- Obrabiarka może wykonywać ruchy robocze i ustawcze w całym obszarze roboczym (w dwu trzech lub więcej osiach). Projektowanie tych ruchów odbywa się na etapie projektowania procesu technologicznego (nie na etapie projektowania obrabiarki).

Jak wynika z porównania cech charakterystycznych dla obrabiarek konwencjonalnych i obrabiarek SN, to obrabiarki CNC są prostsze w budowie i bardziej uniwersalne.

W przypadku tokarek znikły wszelkiego rodzaju tokarki wielonarzędziowe, tokarki rewolwerowe, tokarki kopiarki, automaty i półautomaty tokarskie.

Każda ze współczesnych tokarek może być skonfigurowana bardzo różnorodnie, w zależności od potrzeb klienta, a mianowicie:

- może to być tokarka tylko uchwytowa,
- dodając konik (również sterowany) oraz podtrzymańkę mamy tokarkę do wałków; długich lub krótkich, długość obróbki to kwestia potrzeb,
- narzędzia mocowane są w głowicach narzędziowych. Mogą to być głowice z gniazdami dla prostych narzędzi tokarskich lub z gniazdami do narzędzi napędzanych,
- dodatkowo może być wyposażona w oś „C”, czyli możliwość pozycjonowania wrzeciona,
- stosowane są rozwiązania z możliwością ruchu w kierunku prostopadłym do płaszczyzny X–Z (oś Y),
- podajnik pręta lub magazyn prętów,
- głowica przechwytyjąca umożliwi obróbkę drugiej strony po odcięciu pręta lub obróbkę drugiej strony dla detali typu tarcza.

W przypadku wszelkiego rodzaju wiertarek, wytaczarek, frezarek, strugarek, dłutownic oraz pilnikarek, znikły one z asortymentu współczesnych obrabiarek.

Obróbka na tych maszynach zastąpiona została obróbką na centrach obróbczych. Technologie piłowania oraz strugania odeszły zupełnie do lamusa. Sporadycznie zabiegi strugania wykonywane są na centrach obróbczych. Zabiegi frezowania gwintów w otworach (tylko krótkich) również wykonywane są na centrach. Obróbkę gwintów zewnętrznych współcześnie wykonujemy na walcarkach.

Nowoczesne szlifierki, przeciągarki oraz obrabiarki do uzębień również budowane są jako sterowane numerycznie. Dla potrzeb tego kursu nie będziemy tych obrabiarek omawiali szczegółowo.

Cięcie wszelkiego rodzaju prętów, kształtowników jest bardzo ważnym elementem procesu technologicznego. Obecnie powszechnie stosowana jest technologia cięcia na przecinarkach taśmowych. Nie ma praktycznie przecinarek tarczowych, ramowych itp. Te technologie cięcia są zbyt drogie, aby mogły być stosowane.

Przecinarki taśmowe możemy spotkać jako proste wyposażone tylko w automatyczny mechanizm podawania. Mogą być także wyposażone w skrętną, sterowaną kolumnę, umożliwiającą cięcie pod dowolnymi kątami oraz sterowanie, dzięki któremu możemy ciąć wiele detali.

Tak jak tokarki, centra obróbcze również możemy skonfigurować w prawie dowolny sposób.

I tak centra pionowe mogą być:

- Prostymi trzyosiowymi obrabiarkami o różnej przestrzeni roboczej.
- Mogą być wyposażone w skrętną głowicę w płaszczyźnie X–Z.
- Dodatkowe możliwości obróbki dają różnego rodzaju mechanizmy obrotowe. Połączenie tego rozwiązania ze skrętną głowicą pozwala na obróbkę najbardziej skąplikowanych części, płaszczyzn, powierzchni itp.
- Centra wyposażone są w magazyny narzędzi. Od małych 12–20 pozycyjnych, do 60–cio 80–cio pozycyjnych i większych. Czasy wymiany narzędzi wynoszą obecnie od niecałej sekundy do kilku (6–ciu, 7–miu) sekund.
- Ciekawe możliwości daje podział przestrzeni roboczej. Odbywa się to w taki sposób, że na obrabiarkę o dużej przestrzeni roboczej, na której możemy obrabiać duże detale, możemy w miarę potrzeb zainstalować ścianę. Wtedy otrzymujemy obrabiarkę o dwu mniejszych przestrzeniach roboczych,

do obróbki detali o mniejszych gabarytach. W czasie, kiedy obrabiarka wykonuje obróbkę na jednej z nich, operator na drugiej zamocowuje nowe detale. Eliminujemy w ten sposób czas na mocowanie detali z procesu technologicznego.

- Dla potrzeb produkcji wielkoseryjnej w celu podniesienia wydajności, budowane są centra dwu- lub więcej wrzecionowe.
- Bardzo ważnym elementem w centrach obróbczych jest wrzeciono robocze. W zależności od potrzeb może mieć różne zakresy obrotów. Kilka do kilkunastu tysięcy obrotów na minutę w przypadku obrabiarek do stali i żeliwa. W przypadku obrabiarek do aluminium, metali kolorowych oraz obróbki mikro-narzędziami będzie to kilkadziesiąt tysięcy obrotów na minutę. Podobnie do tokarek SN wrzeciona napędzane są albo silnikami asynchronicznymi, albo są to elektrowrzeciona. Moc, zakres obrotów oraz przenoszony moment możemy wybrać do swoich potrzeb z bogatych ofert producentów.
- Równie istotny, co wrzeciono dla centr obróbczych (tokarek SN także) jest system sterowania. Współczesne systemy sterowania mają możliwość zaprogramowania obróbki najbardziej skomplikowanych kształtów. Na świecie jest cztery podstawowe systemy sterowania:
 - SINUMERIK,
 - FANUC,
 - HEIDENHAIN,
 - MAZATROL.

Na bazie tych systemów producenci obrabiarek zaprojektowali niepoliczony ilości systemów pochodnych.

Centra poziome są to produkcyjne obrabiarki sterowane w trzech podstawowych osiach X, Y, Z. Dodatkowo posiadają stół obrotowy.

- Większość z produkowanych obecnie obrabiarek budowana jest w systemie dwu-paletowym. Powszechnie stosowany jest wymiennic obrotowy. Zastąpił on stosowany wcześniej wymiennicze łańcuchowe i jeszcze wcześniej pneumatyczne. Czym podyktowane były te zmiany? Oczywiście potrzebą skrócenia czasu wymiany palet. Dla paletyzatorów obrotowych czas wymiany wynosi ok. 10s. Paletyzatory łańcuchowe były niewiele wolniejsze, ale były bardziej awaryjne. Paletyzatory pneumatyczne były stosowane najwcześniej, w ich przypadku czas wymiany trwał ponad 1 minutę.
- Magazyny narzędzi stosowane w centrach poziomych to min. 40 sztuk narzędzi. Częściej stosuje się magazyny 60–cio 120–to a nawet większe, Umożliwia to uzbrojenie w narzędzia do obróbki wielu detali. W przypadku magazynów z dużą ilością narzędzi są to magazyny podwójne. Takie rozwiązania umożliwiają obsługę narzędzi podczas pracy obrabiarki.
- Poza rozwiązaniami dwupaletowymi, stosowane są rozwiązania z magazynami palet. Magazyny palet mogą obsługiwać jedną lub kilka obrabiarek. Takie rozwiązania umożliwiają obsługę wielu detali.
- Dla centr roboczych poziomych, wrzeciono robocze można dobrać analogicznie jak w przypadku centr pionowych. Ponadto wrzeciono może być wyposażone w skrętną głowicę w płaszczyźnie Y–Z. Zastosowanie takiej głowicy powoduje, że z obrabiarki poziomej mamy obrabiarkę pionową i dodatkowe możliwości obróbki.

Dlaczego w rozdziale o rodzajach obróbki na obrabiarkach CNC mówiłem o ich możliwościach? Ponieważ jest to bardzo ważne, zarówno na etapie inwestowania jak i na etapie późniejszego użytkowania. Znajomość wszystkich możliwości obrabiarek pozwala optymalnie dobrać obrabiarkę do konkretnych potrzeb swojej produkcji. Na etapie użytkowania pozwala prawidłowo opracować proces technologiczny.

5.2 Ekonomia obróbki skrawaniem

Aby prawidłowo podejść do zagadnień ekonomiki obróbki skrawaniem, należy wiedzieć, że:

- koszty narzędzi w procesie produkcyjnym to 3–5% całkowitych kosztów produkcji,
- obniżenie kosztów narzędzi o np. 1% powoduje redukcję kosztów produkcji maksymalnie o 0.5%,
- wyraźne obniżenie kosztów produkcji zapewnia tylko zwiększenie wydajności skrawania.

Czym jest produktywność? Jest wiele definicji produktywności. Jedną z nich jest stosunek wyprodukowanej wartości do środków zainwestowanych. Wykonać więcej przy mniejszym nakładzie.

Na zysk może wpłynąć kilka czynników takich jak:

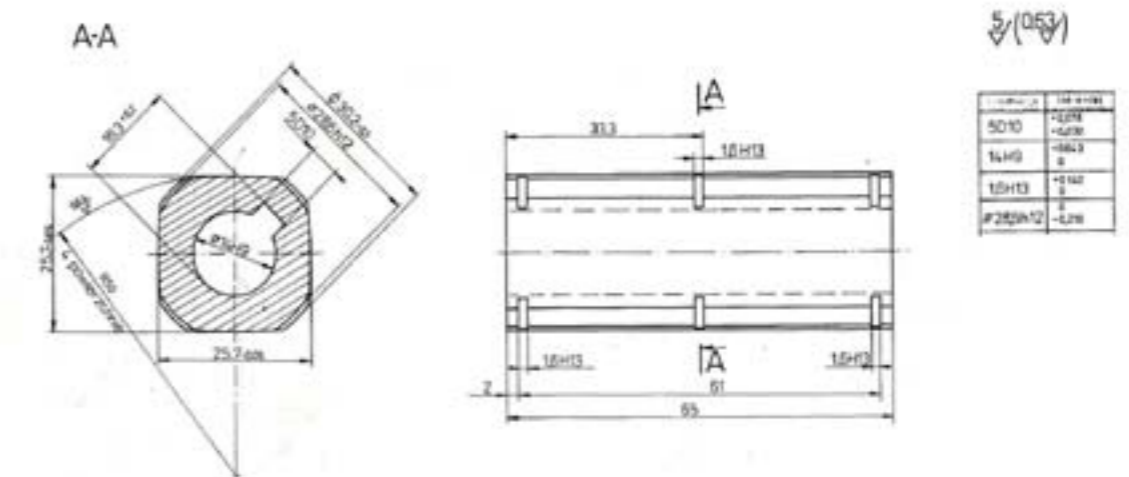
- wybór metody obróbki i droga narzędzia,
- wybór narzędzia, geometria płytki oraz gatunek węgla,
- parametry skrawania (prędkość, posuw oraz głębokość skrawania),
- mała ilość braków,
- mniej zmian narzędzi – większe wykorzystanie obrabiarki,
- wyszkolenie techniczne – lepsze zrozumienie zagadnienia.

Poza pierwszym czynnikiem, który dotyczy bardziej wyboru obrabiarki, może na etapie inwestowania, pozostałe to czynniki dotyczące wyboru narzędzia lub grupy narzędzi.

Dla własnych potrzeb analizę wykonuję wg następującego schematu:

- Ile kosztuje zakład wykonanie detalu lub podzespołu narzędziami dotychczas stosowanymi?
- Ile będzie kosztowało będzie wykonanie tego samego detalu lub podzespołu narzędziami nowymi, z uwzględnieniem kosztów narzędzi lub bez.

Aby lepiej zrozumieć to zagadnienie przeanalizujemy zmianę procesu technologicznego dla detalu jak niżej.



Rys 5.1 Rysunek wykonawczy detalu

Materiał: pręt kwadratowy ciągniony 28x28 BA 1032.

Proces technologiczny przed zmianą:

Nr operacji	Treść operacji	Obrabiarka	Czas [h/1 szt.]
10	CIĄĆ - pręt w pakiecie po 3 sztuki na długość L=68(-1,0) pt = 83 i = 1	Piła taśmowa AS-300	0.0047
15	TOCZYĆ - planować czoła na l=65(-0.6) z przymocowaniem n = 510 p = 0.3 i = 2	Tokarka.. TUD-50	0.019
20	WIERTCIĆ n=500 p = 0.12 - nawiercać pod D13 i = 1 - wiercić otwór D13.75 przelotowo i = 1 n = 125 p = 0.4 i = 1 - fazować 0.5/45 stopni z obu stron i = 2	Wiertarka WKA-40	0.074
25	TOCZYĆ n = 710 p = 0.2 - średnicę D30.2(-0.1) i = 1 - 3 kanałki 1.6H13(+0.14) na D28.6(-0.21) zachować: l=2(+/-0.3), l=33.3(+/-0.3) l=61(+/-0.3) i = 3	Tokarka TUD-50	0.041
30	PRZECIĄGAĆ - kanałek pod wpust 5D10(+0.078 +0.030) zachowując l=16.3(+0.2)	Przeciągarka poz. 7B-510	0,0191
95	TOCZYĆ - promienie R50 zachowując l=25.7(-0.05) w czterech zabiegach po jednym przejściu n = 224 p = 0.08 i = 4 Mocować w przyrządzie tokarskim po 4 sztuki Ustawić położenie wierzchołka noża wg przyrządu. Po wykonaniu jednego zabiegu przymocować wszystkie 4 detale o jedną pozycję w przyrządzie	Tokarka. TUD-50	0.052
		Razem	0.21

Proces technologiczny po zmianie:

Nr operacji	Treść operacji	Obrabiarka	Czas [h/1 szt.]
10	CIĄĆ - pręt w pakiecie po 5 sztuk na długość L=136(-1,0) - na dwa detale pt = 90 i = 1	Piła taśmowa HBP 303	0.0027
15	FREZOWAĆ - NAKIEŁKOWAĆ - frezować na l=133(-0.2) - na dwa detale n = 224 pt = 156 i = 1 - nawiercać dwa nakielki B3.15 n = 1400 pt = 35 i = 1	Frezarka nak. FXLZD 160	0.01
20	TOCZYĆ WG PROGRAMU - Program nr 450.osn Zachować D30,2(-0,1); D28,6h12(-0,21); L=2(+/-0,1); L=61(-0,2).	Tokarka SN TAE 32N	0.0086
25	OBRABIAĆ WG PROGRAMU Program nr 5270-130-201,00.h Mocować w uchwycie trzyszczękowym - wiercić D13.8 na l=68 - rozwiercać D14H9(+0.043) na l=65 - wykonać 4 powierzchnie R50 na l=68 Przymocować (zamocować w uchwycie czteroszczękowym za powierzchnie R50) - wykonać zabiegi jak w pierwszym mocowaniu, oraz rozciąć na dwa detale - ogratować otwory po rozcięciu	Centrum pion DMF 300	0.0435
30	WYKONAĆ - szlifować(usunąć) pozostałość po rozcinaniu.	Szlif. Taśmowa BOY 80	0,011

95	PRZECIĄGAĆ - kanałek pod wpust 5D10(+0.078 +0.030) zachowując l=16.3(+0.2) oraz położenie względem R50 v = 3 i = 1 - ogratować	Przeciągarka poz. 7B-510	0.019
		Razem	0.095

Techniczny Koszt Wytworzenia (TKW) dla procesu przed zmianą to 12.91 zł/1 sztukę.
Po zmianie to 5.66 zł /1 sztukę.

Aby zmienić proces technologiczny należało zakupić następujące narzędzia:

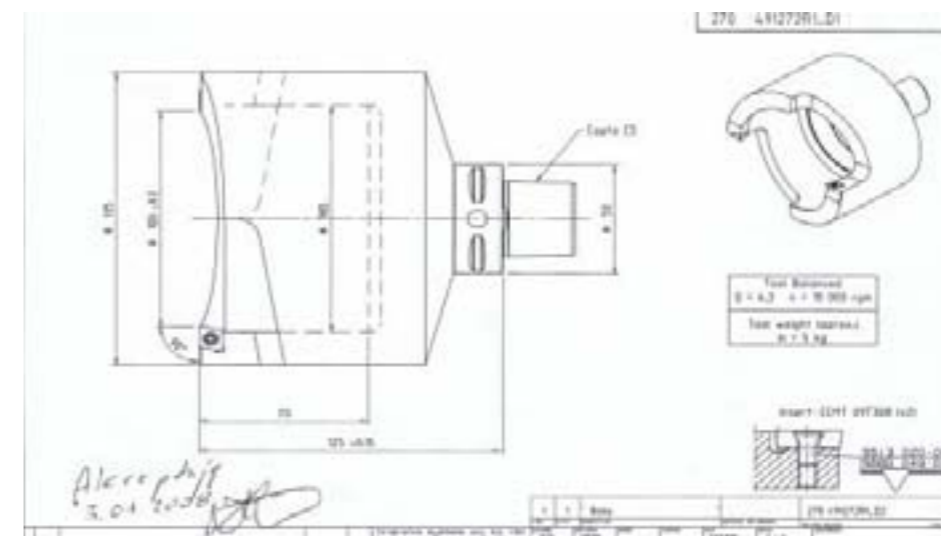
- obtaczak do wykonania promieni R50 – 6500 zł,
- płytki do obtaczaka CCMT 09T304 MM – 29.48 zł,
- rozwiertak pełnowęglkowy $\phi 14H9$ – 460 zł/sztukę.

Koszty narzędzi zawarte są w kosztach wydziałowych, więc można je pominąć.

Możemy jednak spróbować policzyć udział nowych narzędzi jako dodatkowy koszt.

Przed zakupem narzędzi zakładałem, że:

- Jedno naroże płytki będzie pracowało 90 min.
- Gniazda w obtaczaku wytrzymają około 500 wymian płytek.
- Rozwiertak wykona około 30 mb otworu, po czym zostanie jeszcze trzykrotnie naostrzony.
- Kosztów pozostałych narzędzi nie uwzględniam, bo występują zarówno w starym jak i nowym procesie.



Rys. 5.2 Rysunek obtaczaka specjalnego

- Obliczenie kosztu płytek na wykonanie jednego detalu.

Do wykonania jednego detalu narzędzie pokonuje w czterech przejściach drogę:

$$11 \times 4 \times 67 = 268 \text{ mm}$$

Jak widać na rysunku wyposażone jest w dwie płytki.

Trwałość, jak napisałem powyżej 90 min dla jednego naroża.

Posuw – 400 mm/min.

Z tych danych obliczamy, że przy zakładanych parametrach jednym kompletem dwuostrzowych płytek wykonamy ok. 270 detali.

Czyli jeden detal będzie kosztował z tego tytułu:

- $K1=(29.48*2)/270=0.22$ zł

- Obliczenie kosztu obtaczaka na wykonanie jednego detalu:

Trwałość ok. 500 wymian płytek podawana jest przez producenta.

Biorąc to pod uwagę, oraz obliczenia z poprzedniego punktu, obliczamy, że narzędzie wykona około 67500 sztuk detali.

Czyli jeden detal będzie kosztował z tego tytułu:

$$K2=6500/67500=0.1 \text{ zł}$$

- Obliczenie kosztu Rozwiertaka na wykonanie jednego detalu:

Biorąc pod uwagę założenia że, rozwiertak wykona około 30 mb otworu, po czym zostanie jeszcze trzykrotnie naostrzony obliczamy, że wykona około 1350 sztuk detali.

Czyli jeden detal będzie kosztował z tego tytułu:

$$K3=460/1350=0.26 \text{ zł}$$

W sumie nowe narzędzia podniosą koszt wykonania o:

$$K=K1+K2+K3=0.58 \text{ zł}$$

Po uwzględnieniu nowych narzędzi TKW=5.66+0.58=6.24 zł i będzie o około 52% niższy niż przy wykonaniu wg starej technologii.

Widzimy, więc, że opłaca się inwestować w nowoczesne narzędzia i skracać czas wykonania.

Na zakończenie dodatkowa informacja. Proces technologiczny został już wdrożony i zweryfikowany. Okazało się, że rzeczywiste trwałości płytek i rozwiertaka są większe niż zakładałem, czyli ich wpływ na koszt wykonania jest jeszcze mniejszy.

5.3 Narzędzia skrawające

Materiały na narzędzia skrawające i powłoki

Częściom roboczym narzędzi skrawających stawia się następujące wymagania:

- wysoka twardość,
- wysoka wytrzymałość na ściskanie,
- wysoka wytrzymałość na zginanie i odporność na obciążenia dynamiczne,
- duża odporność na ścieranie (zużycie),
- duża odporność na wysoką temperaturę.

Aby sprostać tym wymaganiom, w zależności od potrzeb wynikających z własności materiału obrabianego oraz z konkretnego zadania technologicznego, na narzędzia skrawające stosujemy następujące materiały:

- stale szybko tnące,
- stale proskowe,

- węgliki spiekane,
- cermetale,
- materiały ceramiczne,
- polikrystaliczny, regularny azotek boru (PKB lub CBN),
- diament polikrystaliczny.

STALE SZYBKOTNĄCE

Dawniej podstawowy materiał na wszystkie narzędzia skrawające, obecnie coraz mniej używany.

Są to stale stopowe zawierające w swoim składzie takie składniki stopowe jak mangan, wolfram oraz kobalt. W dalszym ciągu wykonuje się z tych stali wiertła kręte, pogłębiacze, nawiertaki, rozwiertaki, gwintowniki, frezy trzpieniowe, frezy tarczowe do przecinania (piłki), frezy obwiedniowe do obróbki uzębień itp.

Cechy eksploatacyjne narzędzi ze stali szybko tnących:

- małe prędkości skrawania,
- konieczne chłodzenie ostrza,
- mała odporność na zużycie,
- wysoka wytrzymałość na złamanie przy zginaniu,
- niski koszt jednostkowy narzędzia.

STALE PROSKOWE

Materiał pośredni pomiędzy stalami szybko tnącymi a węglkami spiekany.

Okazuje się, że poprawę cech eksploatacyjnych można osiągnąć technologią metalurgii proszków. Polega ona na rozpylaniu przez dysze ciekłej stali która następnie szybko krzepnie w postaci drobnych kropelek (proszku). Nie tworzą się przy tym duże węgliki. Następnie proszek poddaje się prasowaniu pod wysokim ciśnieniem i przy wysokiej temperaturze. Powstaje bardzo drobnoziarnista struktura o bardzo dobrych własnościach mechanicznych oraz dużej odporności na zużycie. Najnowsze stale proskowe posiadają więcej składników stopowych, dzięki czemu charakteryzują się doskonałą twardością (do 70 HRC) oraz odpornością na obciążenia dynamiczne.

WĘGLIKI SPIEKANE

Rozwój technologii produkcji narzędzi z węglików spiekanych otworzył absolutnie nowe możliwości obróbki skrawaniem.

Podstawowymi składnikami węglików spiekanych są: węgiel wolframu lub węgiel wolframu i węgiel tytanu związane kobaltem. Ponadto stosuje się węgliki tantalum i węgliki niobu. Dodatek węgla tytanu wpływa na zwiększenie twardości oraz odporności na ścieranie.

Własności skrawające węglików zależą od:

- składu chemicznego,
- wielkości ziarna proszków,
- metod wytwarzania.

Cechy eksploatacyjne narzędzi z węglików spiekanych:

- możliwość zastosowania dużych prędkości skrawania oraz dużych posuwów (większa wydajność skrawania),

- duża wytrzymałość na ścieranie,
- dłuższe okresy trwałości,
- możliwość obróbki materiałów trudnoobrabialnych oraz bardzo twardych,
- duża twardość (do 90 HRC),
- zachowują własności skrawalne w wysokiej temperaturze (do 1000°).

Podział węglików spiekanych wg oznaczeń ISO:

- Gatunki węglików stosowane do obróbki materiałów dających długi wiór (stal, staliwo). Oznaczone literą P, kolor niebieski: P01, P05, P10, P20, P30, P40.
- Gatunki węglików stosowane do obróbki stali nierdzewnych. Oznaczone literą M – kolor żółty: M10, M20, M30, M40.
- Gatunki węglików stosowane do obróbki materiałów dających krótki wiór (głównie żeliwa i stopów aluminium) – kolor czerwony: K01, K05, K10, K20, K30.
- Gatunki stosowane do obróbki metali nieżelaznych (głównie aluminium). Oznaczenia N10.
- Gatunki stosowane do obróbki tytanu i stopów specjalnych (żaroodpornych stopów specjalnych na bazie żelaza, niklu, kobaltu i tytanu) – oznaczane litera S, kolor brązowy.
- Węgliki spiekane stosowane do obróbki materiałów bardzo twardych (stal hartowana, hartowane odlewy z żeliwa lanego itp.,) – oznaczane literą H, kolor szary.

Ten podział węglików jest tylko umowny i służy do celów porównawczych. Ze względu na konkurencję w dziedzinie produkcji narzędzi skrawających, każdy producent stosuje swoje oznaczenia w każdej z grup zastosowania. Oznaczenia ISO stosuje się tylko do celów porównawczych.

CERMETALE

Są to stopy twarde zawierające węgiel tytanu (TiC, Tin) Stanowią one połączenie cząstek ceramicznych z metalicznym środkiem wiążącym, (CERamic Metal).

Własności skrawające cermetali:

- duża odporność na zużycie powierzchni,
- wysoka stabilność chemiczna i twardość podwyższonych temperaturach,
- mała skłonność do tworzenia narostu.

Powolny przebieg zużycia, a co za tym idzie długie okresy trwałości pozwalają na stabilny proces obróbki, uzyskanie dobrej jakości powierzchni oraz dokładności. Dla cermetali przyjmuje się wysokie prędkości skrawania, małe posuwy oraz równomierną głębokość skrawania. Oznacza to, że główną dziedziną zastosowania jest obróbka wykańczająca. Przy frezowaniu cermetale wykazują wysoką odporność na obciążenia dynamiczne i doskonale nadają się do obróbki stali nierdzewnych i austenitycznych. Szczególnie przydatne są w przypadku niektórych operacji wykańczających, zwłaszcza materiałów „mażących się”. Cermetale mogą być pokrywane tylko przez PVD. Zastosowanie powłok zwiększa twardość powierzchni i co za tym idzie odporność na zużycie oraz na zmniejszenie narostów.

CERAMIKA CZYSTA I MIESZANA

Powstaje w wyniku prasowania i spiekania w temperaturze 1500–2000°C sproszkowanych tlenków aluminium wraz z niewielkimi dodatkami magnezu i tlenku krzemu.

Cechą charakterystyczną jest kolor biały.

Własności skrawające cermetali:

- duża twardość, ok.2400 HV3, dla porównania węgliki nie powlekane ok.1790 HV3, (Vickersa),
- duża odporność na ścieranie,
- duża odporność na wysoką temperaturę do 1200°C,
- duża wytrzymałość na ściskanie,
- przy nagrzewaniu nie utleniają się,
- nie wykazują skłonności do tworzenia się narostu.

Rodzaje materiałów ceramicznych i ich zastosowanie:

- Spieki ceramiczne wykonane z czystej ceramiki tlenkowej na bazie tlenku glinu z dodatkiem zwiększającego udarność tlenku cyrkonu, przeznaczone są do pracy z wysokimi prędkościami skrawania żeliw i stali w stabilnych warunkach. Nie wymaga chłodzenia.
- Spieki ceramiczne z węgla krzemu wzmacnianego „whiskersami” które są rozmieszczone w materiale w sposób losowy. Stosowane są do szybkościowej obróbki superstopów żaroodpornych, i materiałów hartowanych, tam gdzie od narzędzia wymagane jest wysokie bezpieczeństwo lub udarność.
- Ceramika mieszana na bazie tlenku glinu z dodatkiem z dodatkiem węgla tytanu. Jest ona specjalnie polecana do obróbki wykańczającej żeliw stali i żeliw hartowanych oraz superstopów żaroodpornych w przypadkach obróbki wymagającej od materiału skrawającego wymagane są wysoka odporność na ścieranie oraz dobre właściwości cieplne.
- Ceramika oparta na azotku krzemu. Spiek ceramiczny z czystego azotku krzemu nadający się dobrze do obróbki od zgrubnej do wykańczającej żeliw szarego z dużymi prędkościami w stabilnych warunkach.
- Ceramika pokrywana, której podłoże stanowi azotek krzemu pokryciem Al₂O₃ – Tino grubości 1µm. Właściwości tego materiału pozwalają wykorzystywać go do obróbki lekko zgrubnej, średnio dokładnej i dokładnej żeliw.

POLIKRYSTALICZNY AZOTEK BORU (PKB lub CBN)

Regularny azotek boru (CBN) jest stosowany na narzędzia pod trzema różnymi postaciami:

- Jako pełne płytki skrawające.
- Jako powłoka nakładana przez spiekanie na podłożu ze stopów twardych.
- Jako materiał skrawający, lutowany na podłożu stopu twardego.

Własności skrawające CBN:

- Bardzo wysoka twardość, również w temperaturach do 2000° C.
- Wysoka odporność na zużycie.
- W porównaniu do spieków ceramicznych CBN jest bardziej ciągliwy i twardszy.
- Cechuje się dobrą stabilnością chemiczną podczas skrawania.

Własności CBN można zmieniać poprzez zmianę wielkości kryształów oraz zawartość i typ środka wiążącego.

Mniejsza zawartość CBN w połączeniu z ceramicznym środkiem wiążącym, pozwala na uzyskanie lepszej wytrzymałości na zużycie i chemicznej stabilności. Tego rodzaju CBN stosuje się na narzędzia skrawające do wykańczającej obróbki twardych stali żeliw.

Większa zawartość CBN wpływa na większą odporność na obciążenia dynamiczne. Tego rodzaju CBN stosuje się przede wszystkim tam, gdzie przy skrawaniu zgrubnym występują duże obciążenia mechaniczne oraz wysoka temperatura. Tego rodzaju CBN stosuje się na narzędzia skrawające do obróbki twardych żeliw i żaroodpornych stopów.

Zalecane zastosowania narzędzi w zależności od zawartości CBN:

1. Mała zawartość CBN < 60% (Mała wytrzymałość na ściskanie i przewodność cieplna).

Obróbka wykańczająca:

- stali hartowanej,
- żeliwa,
- powłok twardych (na bazie Co Ni i Fe),

2. Duża zawartość CBN 80 – 95 % (wysoka odporność na wykruszenia i duża przewodność cieplna).

Obróbka zgrubna:

- stali hartowanej,
- żeliwa utwardzanego,
- powłok twardych (na bazie Co Ni i Fe).

Obróbka wykańczająca:

- żeliwa utwardzanego,
- perlitycznego żeliwa szarego,
- ponadto CBN stosuje się do obróbki stali kutek, stali hartowanych, żeliw, stopów żaroodpornych oraz metali na bazie kobaltu i żelaza wykonanych technologią metalurgii proszkowej. Także do obróbki twardych materiałów o twardości powyżej 45 do 65 HRC.

POKRYWANIE

Pokrywanie jest to nanoszenie na materiały narzędziowe materiałów znacznie polepszających ich właściwości skrawające. Starannie dobrana do zadania powłoka ostrza narzędzia pozwala na osiągnięcie następujących korzyści:

- Wydłużenie okresu trwałości.
- Mniejsze siły skrawania.
- Wyższe prędkości skrawania i posuwu.
- Lepsza jakość powierzchni.
- Lepsze warunki obróbki na sucho.
- Lepsze warunki materiałów twardych, o twardości do 68 HRC.

Powłoki w zależności od składu chemicznego charakteryzują się zewnętrzną barwą np.: złotą, czerwono-brązową, szaro-niebieską, czarno-niebieską, szarą, srebrną itp. Średni wzrost trwałości powlekanych frezów ślimakowych i dłutaków modułowych wynosi 300% (w porównaniu z narzędziami konwencjonalnymi). Warstwy na bazie TiN znalazły poza tym powszechne zastosowanie w takich grupach narzędzi jak: wiertła kręte – wzrost trwałości ok. 4 razy podczas obróbki stali węglowych, ok. 5 razy podczas obróbki żeliwa oraz ok. 9 razy podczas obróbki stali nierdzewnej; gwintowniki – wzrost trwałości 2–7 razy; rozwiertaki – wzrost trwałości 3–6 razy; pogłębiacze czołowe i stożkowe – wzrost trwałości 2–4 razy; przeciągacze – wzrost trwałości – do ok. 3 razy podczas obróbki stali węglowej i nawet ponad 20 razy podczas obróbki stali chromowo molibdenowej. Jeszcze szersze zastosowanie znalazła technika cienkich warstw w przypadku konstituowania warstwy wierzchniej płytek z węglików spiekanych. Są to powłoki jedno lub wielowarstwowe,

składające się przede wszystkim z TiN, TiC, Ti(C,N) i Al₂O₃.

W chwili obecnej zdecydowanie dominują powłoki złożone, które można podzielić na:

- wieloskładnikowe, np.: (Ti, V)C, (Ti, Zr)C, Ti(C,N),
- gradientowe – wielowarstwowe, np.: TiC – Ti(C,N) – Al₂O₃ – Ti(C,N) – TiN,
- multianowarstwowe – od kilku do tysiąca pojedynczych warstw o grubości nanometrowej, np.: TiN – TiB₂,
- metastabilne, otrzymywane w wyniku syntezy faz nierównowagowych (metastabilnych), np.: (Ti,Al.) N,
- wielofazowe – np. amorficzna warstwa TiC – TiB₂.

W trakcie projektowania powłoki wielowarstwowej poszczególne warstwy układa się uwzględniając ich właściwości, np. warstwa:

- TiN – zapewnia mały współczynnik tarcia i dobrą adhezję do podłoża,
- Al₂O₃ – stabilność cieplną, odporność na zużywanie ściernie,
- Ti(C,N) – twardość, odporność na łuszczenie się, odporność na zużywanie ściernie.

Obecnie każda firma produkująca narzędzia skrawające posiada swoje własne rozwiązania pokryć ostrzy skrawających – warstwy super twarde i warstwy przeciw narostowe, poślizgowe.

Metody pokrywania

Warstwy materiałów super twardych mogą być nakładane zarówno metodami chemicznymi jak i fizycznymi.

Stosowane są metody:

- metoda chemiczna CVD (Chemikal Vapor Depositions),
- metoda Fizyczna PVD (Physical Vapor Depositions).

Metoda CVD (chemiczne wydzielanie z fazy gazowej) jest stosowana w dużym zakresie, np. nadaje się do powlekania węglików spiekanych. Nadaje się szczególnie do wykonywania powłok wielowarstwowych, ponieważ poprzez zmianę składu fazy gazowej można nakładać powłoki o różnym składzie. Na powierzchni mogą być nakładane warstwy o różnej grubości, w różnej kolejności.

Technika PVD to proces próżniowy, w którym parujący metal np. tytan, reaguje z gazem np. azotem, tworząc twardą warstewkę na powierzchni narzędzia. Najważniejszą cechą procesu jest stosunkowo niska temperatura, nie naruszająca struktury materiału narzędzia ani jego tolerancji wymiarowych. Pojęcie PVD wiąże się z szeregiem metod zaliczanych do tej techniki. Grupa technik PVD wykazuje na świecie dynamiczny rozwój. W chwili obecnej większość narzędzi ze stali szybko tnących oferowanych przez wyspecjalizowanych producentów ma warstwę wierzchnią konstituowaną za pomocą techniki cienkich warstw.

5.4 Rodzaje narzędzi skrawających

Przystępując do pisania tego rozdziału, myślę, że najważniejszego rozdziału dotyczącego obróbki skrawaniem, zastanawiałem się, co powinien zawierać?

Jeżeli zdecydowałbym się na pełną charakterystykę wszystkich nowoczesnych narzędzi to byłby to trud, któremu na pewno nie podołałbym w tak krótkim czasie.

Postaram się, więc dokonać krótkiego podziału narzędzi a następnie przedstawić „mapę” dostępnych w Polsce narzędzi skrawających.

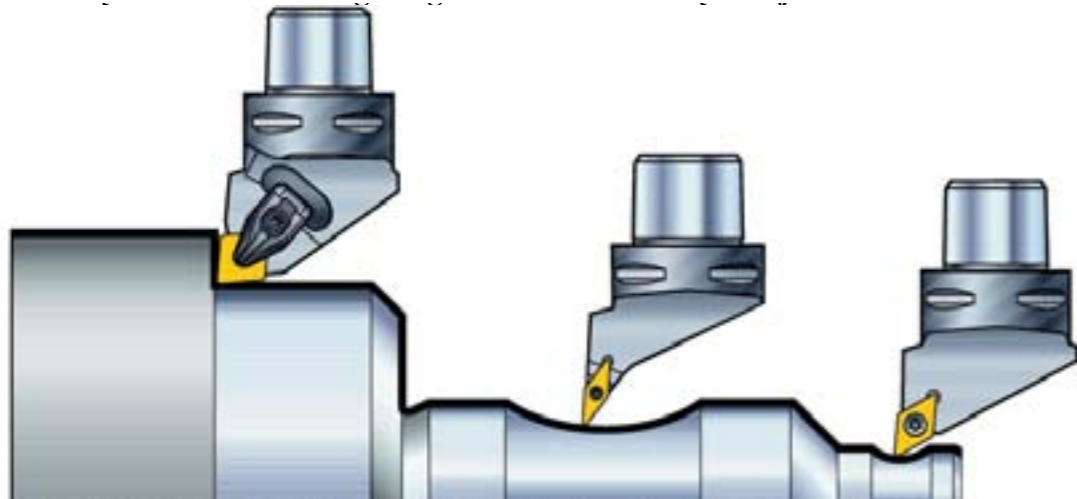
Narzędzia skrawające ze względu na zastosowanie w naturalny sposób dzielą się na:

- A. narzędzia tokarskie,
- B. narzędzia obrotowe.

Na potrzeby tego opracowania zajmiemy się tylko tymi narzędziami. Piły, narzędzia do obróbki uzębień, narzędzia do szlifowania itp., nie będą jego przedmiotem.

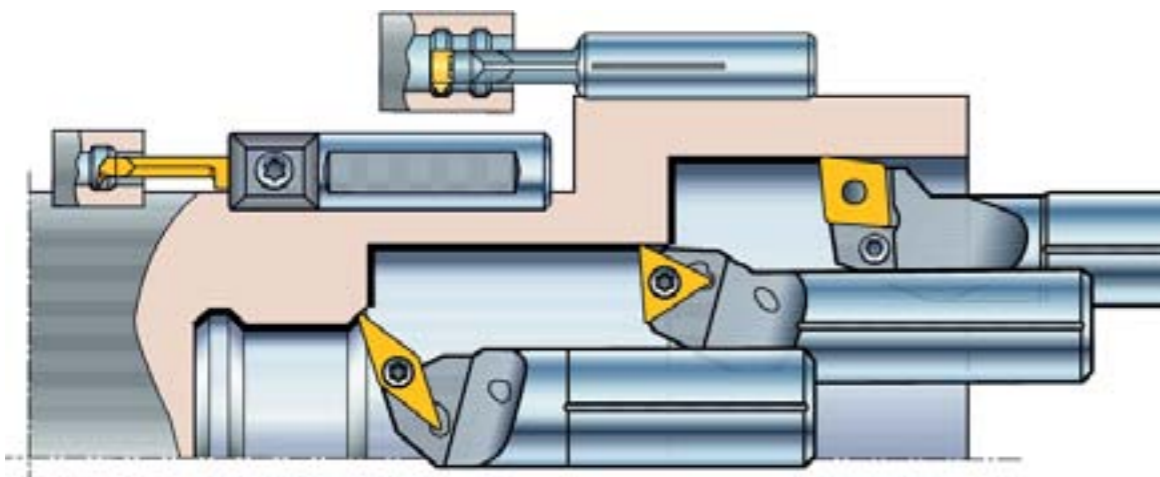
5.4.1 Podział narzędzi frezarskich

- Narzędzia do toczenia ogólnego do obróbki zewnętrznej.



Rys. 5.3 Narzędzia do toczenia zewnętrznego

- Narzędzia do toczenia ogólnego do obróbki wewnętrznej.



Rys. 5.4 Narzędzia do toczenia wewnętrznego

- Narzędzia do toczenia ogólnego do obróbki małych detali.

Do toczenia wewnętrznego, toczenia rowków i wytaczania małych otworów o średnicach co najmniej 0.3 mm.



Rys. 5.5 Narzędzia obróbki małych detali

Narzędzia do obróbki małych przedmiotów są zaprojektowane do bardzo dokładnej obróbki na obrabiarkach z głowicami przesuwными w przemyśle samochodowym, precyzyjnym, elementów złącznych i medycznym.

- Przykłady zastosowania narzędzi do przecinania i toczenia rowków:

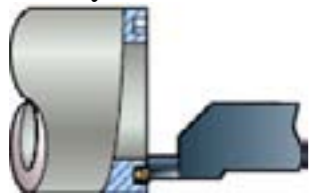


Rys. 5.6 Narzędzia do przecinania



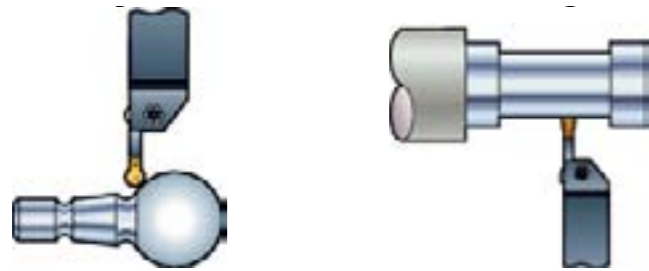
Rys. 5.7 Narzędzia do toczenia rowków i toczenia kanałków

c)



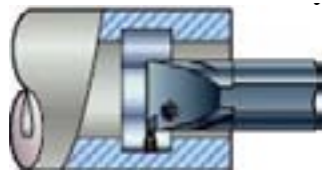
Rys. 5.8 Narzędzia do toczenia rowków czołowych

d)



Rys. 5.89 Narzędzia do profilowania i toczenia wzdłużnego

e)



Rys. 5.10 Narzędzia do obróbki wewnętrznej

f)

Do zewnętrznego przecinania, toczenia rowków, toczenia gwintu i toczenia przedmiotów o małych średnicach



Rys. 5.11 Narzędzia do zewnętrznej obróbki małych przedmiotów

g)



Rys. 5.12 Narzędzia do toczenia gwintów

h)



Rys. 5.13 Narzędzia do obróbki wielozadaniowej

5.4.2 Podział narzędzi obrotowych

- Przykłady zastosowania narzędzi frezarskich:

a)



Rys. 5.14 Narzędzia do frezowania czołowego

b)



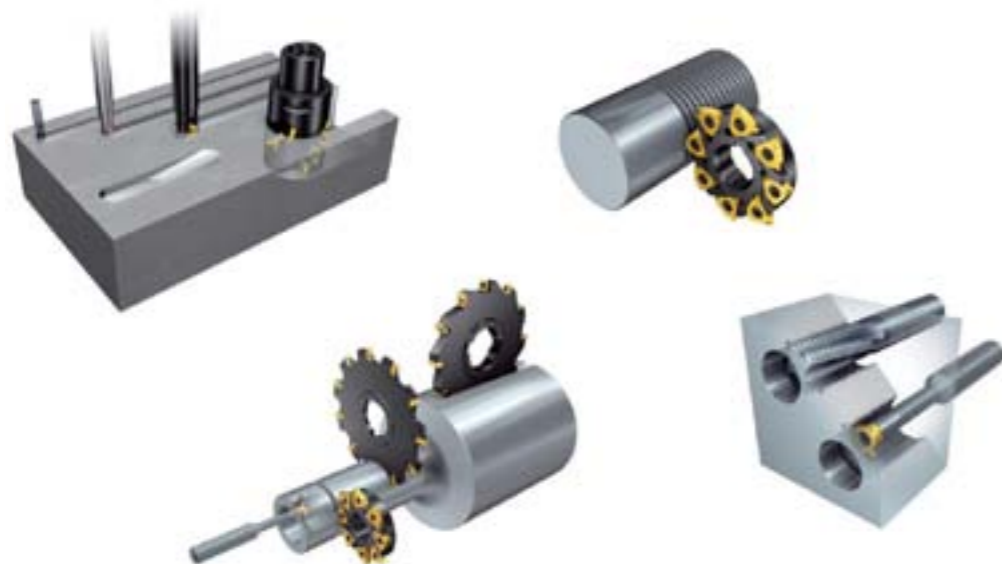
Rys. 5.15 Narzędzia do frezowania walcowo-czołowego

c)



Rys. 5.16 Narzędzia do frezowania profilowego

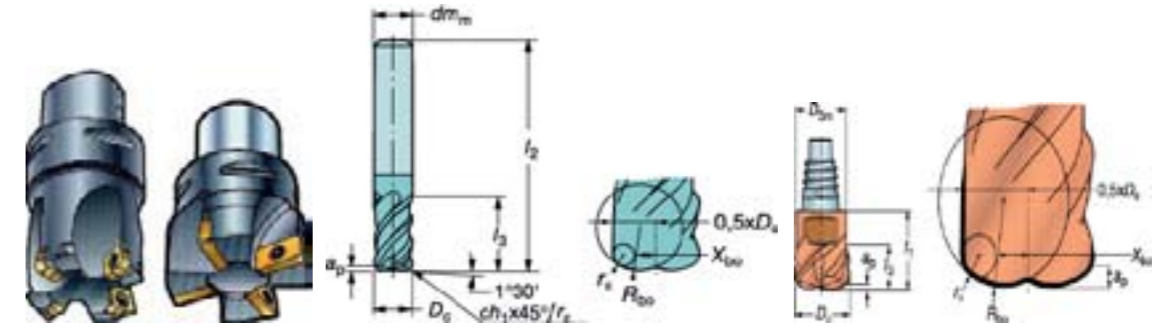
d)



Rys. 5.17 Narzędzia do frezowania rowków i gwintów

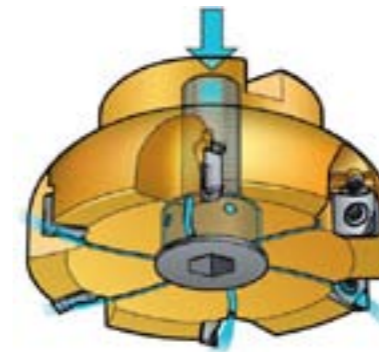
Wśród narzędzi frezarskich jako oddzielne grupy możemy wyróżnić:

e)



Rys. 5.18 Frezy do wysokich posuwów

f)

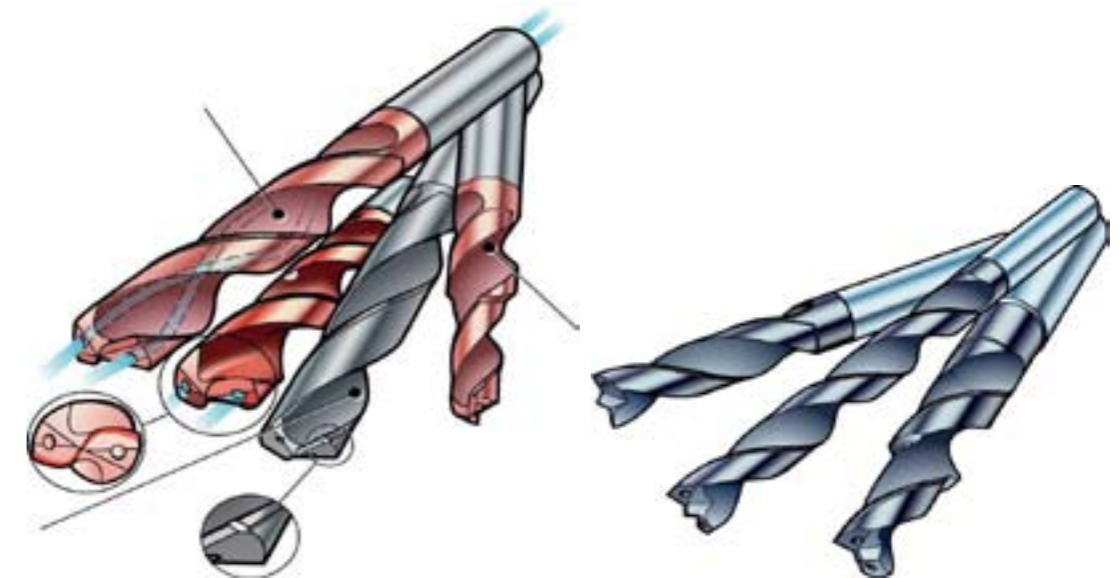


Rys. 5.19 Frezy do frezowania materiałów twardych

- Przykłady zastosowania narzędzi do wiercenia, rozwiercania i gwintowania:

a)

Wiertła do wysoko-produktywnego wiercenia; Wiertła pełnowęglkowe do aluminium;



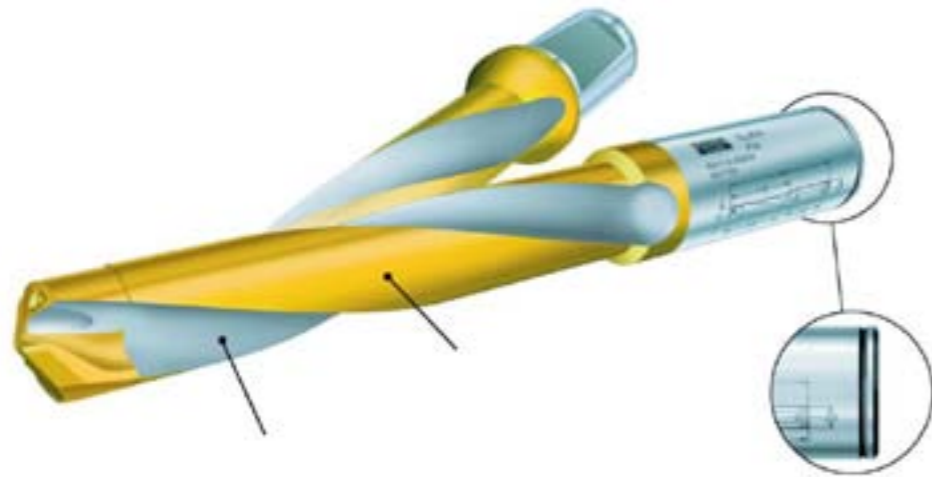
Rys. 5.20 Wiertła pełnowęglkowe

b)



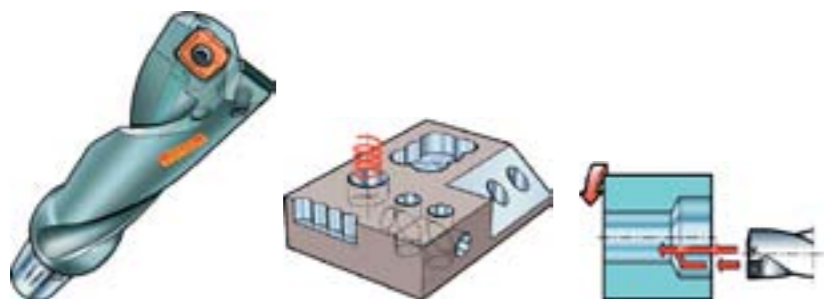
Rys. 5.21 Wiertła pełnowęglkowe do kompozytów

c)



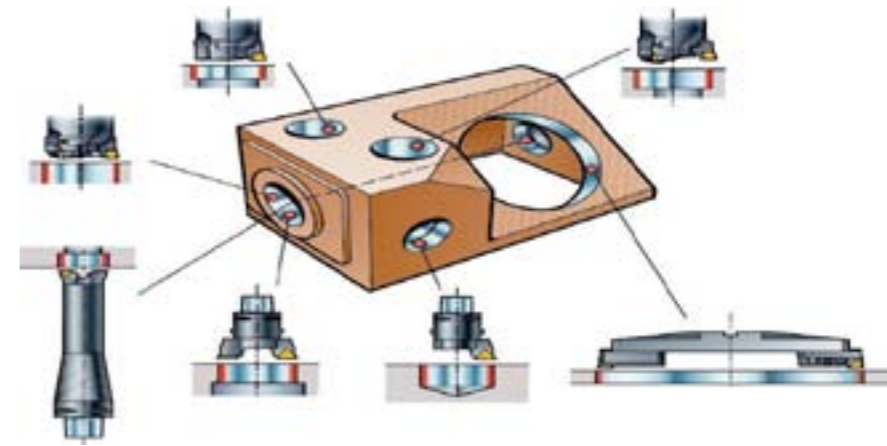
Rys. 5.22 Wiertła z wlutowanymi płytkami z węglików spiekanych

d)



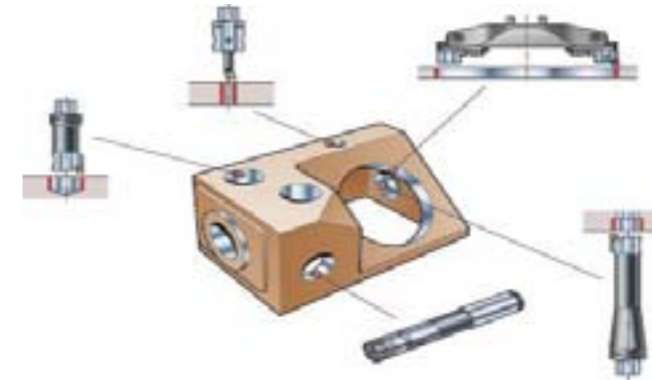
Rys 5.22 Wiertło na płytki wymienne, wiertło obrotowe, wiertło nieruchome

• Przykłady zastosowania narzędzi do wytaczania:



a)

Rys. 5.24 Narzędzia do wytaczania zgrubnego



- b)

Rys. 5.25 Narzędzia do wytaczania wykańczającego

5.5 Producenci narzędzi skrawającychw Polsce

SANDVIK

Produkuje i sprzedaje na całym świecie prawie wszystkie rodzaje wymienionych wyżej narzędzi, poza rozwiertakami i gwintownikami, płytki skrawające do tych narzędzi, oprawki do mocowania narzędzi, systemy narzędziowe. Na stronie: www.sandvik.com/pl można pobrać bezpłatnie katalogi narzędzi, poradniki doboru narzędzi i parametrów skrawania, oraz poradnik obróbki skrawaniem w formacie PDF. Szczególnie polecam poradnik obróbki skrawaniem. Jest, co prawda krytykowany za to, że traktuje tylko o narzędziach firmy SANDVIK, ale moim zdaniem treści w nim zawarte mają charakter uniwersalny i pozwolą się zastosować do narzędzi wszystkich producentów.

DORMER

Firma wchodząca w skład koncernu SANDVIK, produkuje narzędzia do wiercenia, gwintowania, frezowania gwintu, frezy trzpieniowe i narzędzia do rozwiertania.

Na stronie www.dormertools.com/sandvik/2531/internet/S003591.nsf znajdziecie Państwo katalog narzędzi w formacie PDF, oraz program doboru parametrów skrawania.

SANDVIK-BAILDONIT

Firma wchodząca w skład koncernu SANDVIK, produkuje płytki do narzędzi składanych. Jest jedynym producentem dla koncernu płytek borazonowych. Na stronie www.baildonit.pl/index.php/firma/ znajdziecie Państwo katalog narzędzi i cenniki w formacie PDF.

HEULE

Firma produkuje bardzo wąski i specjalistyczny rodzaj narzędzi, a mianowicie narzędzia do fazowania. Warto jednak zapoznać się z tymi narzędziami, bo w swojej dziedzinie to naprawdę formuła F Na stronie: <http://www.heule.com/> znajdziecie Państwo katalog narzędzi w formacie PDF, niestety brak w języku polskim.

WALTER

Firma wchodząca w skład koncernu SANDVIK Produkuje i sprzedaje na całym świecie prawie wszystkie rodzaje wymienionych wyżej narzędzi, poza rozwiertakami i gwintownikami, płytki skrawające do tych narzędzi, oprawki do mocowania narzędzi, systemy narzędziowe.

Na stronie www.walter-tools.com/ znajdziecie Państwo katalogi narzędzi firm WALTER WALTER-TITEX, WALTER-PROTOTYP w formacie PDF. Niestety nie są dostępne w języku polskim. Katalog w języku polskim w formie papierowej, można otrzymać kontaktując się z przedstawicielem.

WALTER-TITEX

Firma wchodząca w skład koncernu WALTER, produkuje wiertła, rozwiertaki, pogłębiacze, nawiertaki. Strona internetowa jak wyżej: www.walter-tools.com/. Katalog w języku polskim w formie papierowej, można otrzymać kontaktując się z przedstawicielem.

WALTER-PROTOTYP

Firma wchodząca w skład koncernu WALTER, produkuje gwintowniki, narzynki, frezy trzpieniowe. Strona internetowa jak wyżej: www.walter-tools.com/. Katalog w języku polskim w formie papierowej, można otrzymać kontaktując się z przedstawicielem.

MITSUBISHI

Produkuje i sprzedaje na całym świecie: cały asortyment narzędzia tokarskich i płytki do tych narzędzi, monolityczne frezy palcowe, narzędzia frezarskie składane i płytki do tych narzędzi, wiertła monolityczne, wiertła składane i płytki do tych wiertel. Na stronie www.mitsubishicarbide.com/EU/pl/product/catalog/catalog.html znajdziecie Państwo katalog narzędzi w formacie PDF.

SECO

Produkuje i sprzedaje narzędzia tokarskich i płytki do tych narzędzi, narzędzia frezarskie składane i płytki do tych narzędzi, wiertła monolityczne, wiertła składane i płytki do tych wiertel, rozwiertaki, narzędzia do wytaczania, oprawki i systemy narzędziowe. Na stronie www.secotools.com/pl/Global/Services-Support/Machining-Navigator/Polish/ znajdziecie Państwo katalog narzędzi w formacie PDF w języku polskim.

KENNAMETAL

Produkuje i sprzedaje narzędzia tokarskich i płytki do tych narzędzi, monolityczne frezy palcowe, narzędzia frezarskie składane i płytki do tych narzędzi, narzędzia do obróbki otworów: wiertła monolityczne, wiertła składane i płytki do tych wiertel, rozwiertaki, narzędzia do wytaczania, gwintowniki oprawki i systemy narzędziowe. Na stronie http://www.kennametal.com/int/pdf_library/index.jhtml?drop=&mlocale=pl PL&expand=pdf znajdziecie Państwo katalog narzędzi w formacie PDF w języku polskim.

GÜHRING

Produkuje i sprzedaje monolityczne frezy palcowe, wiertła monolityczne, rozwiertaki, gwintowniki pogłębiacze. Na stronie www.guehring.pl/index.php?id=1 znajdziecie Państwo katalog narzędzi w formacie PDF w języku polskim.

FRANKEN

Produkuje monolityczne frezy palcowe ze stali narzędziowych i pełnowęglkowe, narzędzia frezarskie składane dedykowane do obróbki form i płytki do tych narzędzi, duży asortyment frezów kształtowych i kątowych, frezy do obróbki uzębień – modułowe i krążkowe, rozwiertaki i pogłębiacze, oprawki do mocowania narzędzi. Na stronie <http://www.emuge-franken.com.pl/> znajdziecie Państwo katalog narzędzi w formacie PDF w języku polskim.

KOMET-URPOL

Produkuje narzędzia frezarskie składane i płytki do tych narzędzi, monolityczne frezy palcowe, narzędzia

do obróbki otworów: wiertła składane, wytaczadła zgróbné i wykańczające, rozwiertaki pełnowęglkowe i składane, wiertła monolityczne pełnowęglkowe, frezy palcowe pełnowęglkowe, płytki do narzędzi składanych, oprawki narzędziowe i systemy narzędziowe. Na stronie <http://www.urpol.com.pl/> znajdziecie Państwo katalog narzędzi w formacie PDF w języku polskim.

Myślę, że wymieniłem tu najważniejszych producentów i dostawców narzędzi. Na pewno nie wszystkich. Na rynku znajdziecie Państwo jeszcze narzędzia firm włoskich (D'Andrea, Silmax, SAU, CHIA-MU), koreańskich (KYOCERA), rosyjskich (TIZ) i wielu innych.

5.6 Zasady doboru narzędzi skrawających

Dobór narzędzi skrawających jest to integralna część projektowania procesu technologicznego. Aby to zadanie wykonać dobrze trzeba przestrzegać następujących zasad:

- zapoznać się z konstrukcją przedmiotu obrabianego,
- przeanalizować możliwości wykonania pod względem posiadanego parku maszynowego i posiadanych narzędzi,
- przeanalizować możliwości zamocowania i podzielić proces technologiczny na operacje,
- przeanalizować alternatywne metody obróbki,
- dobrać narzędzia i parametry skrawania,
- przeprowadzić symulację procesu wg metod alternatywnych,
- przeprowadzić analizę ekonomiczną,
- wybrać najkorzystniejszą wersję procesu i wdrożyć do produkcji,
- porównać z założeniami, zweryfikować w zależności od występujących problemów.

Jak widzimy same zasady projektowania procesów technologicznych nie zmieniły się. Tylko mamy do dyspozycji inne, „drogie obrabiarki i narzędzia”. Jak teraz poradzić sobie w tym gąszczu, dostępnych narzędzi? Trzeba poznać kilka zasad:

- Narzędzia dobieramy zawsze do zadania technologicznego. Muszą umożliwić obróbkę wymaganego kształtu.
- Ponadto przy wyborze kształtu płytki trzeba uwzględnić następujące czynniki:
 - rodzaj obróbki (zgrubna, średnia, wykańczająca),
 - uniwersalność w wykonywaniu operacji, tzn. jednym narzędziem wykonać max ilość zabiegów,
 - ograniczenia mocy obrabiarki, różne narzędzia wymagają różnego zapotrzebowania na moc,
 - skłonność do powstawania drgań,
 - obróbka przerywana,
 - obróbka materiałów twardych,
- Wybierając narzędzia pod względem geometrii, kierujemy się zawsze materiałem obrabianym. Pod tym względem nic się nie zmieniło w stosunku do narzędzi starych. Inną geometrię używamy do stali, inną do żeliwa, inną do aluminium, itd. Przeglądając katalogi wszystkich producentów, zauważymy, że proponują narzędzia do obróbki poszczególnych materiałów. I tak są np. frezy do obróbki tytanu, narzędzia do obróbki aluminium i materiałów miękkich to zupełnie oddzielna grupa narzędzi

i nie używa się ich do obróbki innych materiałów. To samo dotyczy płytek skrawających i to zarówno pod względem geometrii jak i rodzaju materiału z jakiego są wykonane. W tym miejscu chciałbym zamieścić jedną ze złotych myśli, a mianowicie:

„NIE OSTRZYMY PŁYTEK WYMIENNYCH”

To nie jest żart, takie sytuacje zdarzają się i to dość często. Dotyczy to narzędzi tokarskich. Ostrzenie płytek jest bez sensu, bo w trakcie tej czynności niszczy się oprawkę. Tu trzeba zmienić filozofię. Nie ostrzemy płytki, ale dobieramy inną geometrię płytki, lub inny kształt łamacza. Kolejna zasada jest taka, że zewnętrzne podobieństwo narzędzi różnych producentów jest tylko pozorne. Aby dokonać wyboru z pośród kilku najlepiej przeprowadzić testy. Porównać parametry obróbki, policzyć ile kosztuje wykonanie i wybrać najlepsze. Jeżeli wyniki porównania są zbliżone wybrać te narzędzia dla których czasy wykonania będą najkrótsze.

Wielu ww. producentów wykonuje narzędzia na bardzo zbliżonym poziomie i zdarzy się tak, że testy dadzą podobny bądź identyczny wynik.

5.7 Wybrane zagadnienia doboru parametrów skrawania

W przypadku nowych narzędzi skrawających:

Nie ma uniwersalnych zaleceń co do doboru parametrów skrawania dla poszczególnych rodzajów obróbek. Przy doborze parametrów obróbki należy przestrzegać zaleceń producenta narzędzi. Zawsze są one podane w katalogach narzędzi. Producenci zalecają parametry skrawania zawsze w pewnym przedziale; Jako wartości początkowe przyjmować średnie i korygować w trakcie prób w górę lub w dół. Ponadto należy uwzględnić:

- konstrukcję przedmiotu obrabianego i zalecenia producenta co do wchodzenia/wychodzenia narzędzia w/z materiał/u obrabiany/ego,
- uwzględnić sztywność układu: obrabiarka, przyrząd mocujący, przedmiot obrabiany, narzędzie,
- uwzględnić rzeczywisty stan materiału obrabianego.

W wielu przypadkach zdarza się, że pierwsze próby obróbki przynoszą negatywne rezultaty. Jakich są przyczyny mające wpływ na weryfikację parametrów obróbki?

- Różne rodzaje zbyt szybkiego, nadmiernego lub niewłaściwego zużycia narzędzia.
- Drgania.
- Zakleszczanie wiórów.
- Ponowne skrawanie wiórów.
- Niezadowalająca chropowatość powierzchni.
- Formowanie zadziórów.
- Zbyt mała moc i moment obrotowy obrabiarki.

Trwałość ostrza jest jednym z czynników które decydują o opłacalności zastosowania narzędzia. Przy doborze parametrów trzeba znać ich wpływ na trwałość:

- **Głębokość skrawania** – niewielki wpływ na trwałość

Za mała	Za duża
– źle wpływa na łamanie wióra	– duże zapotrzebowanie mocy
– powoduje powstawanie drgań	– powstają duże siły skraw
– nieekonomiczna obróbka	– spowoduje złamanie płytki

- **Posuw na obrót** – znaczący wpływ na trwałość

Za niski	Za wysoki
– powstawanie podłużnych rys	– źle wpływa na łamanie wióra
– powoduje szybkie zużycie	– powoduje zużycie kraterowe
na powierzchni przyłożenia	
– powoduje powstawanie narostu	– duże zapotrzebowanie mocy
– nieekonomiczna obróbka	– zgrzewanie wiórów

- **Prędkość skrawania** – duży wpływ na trwałość

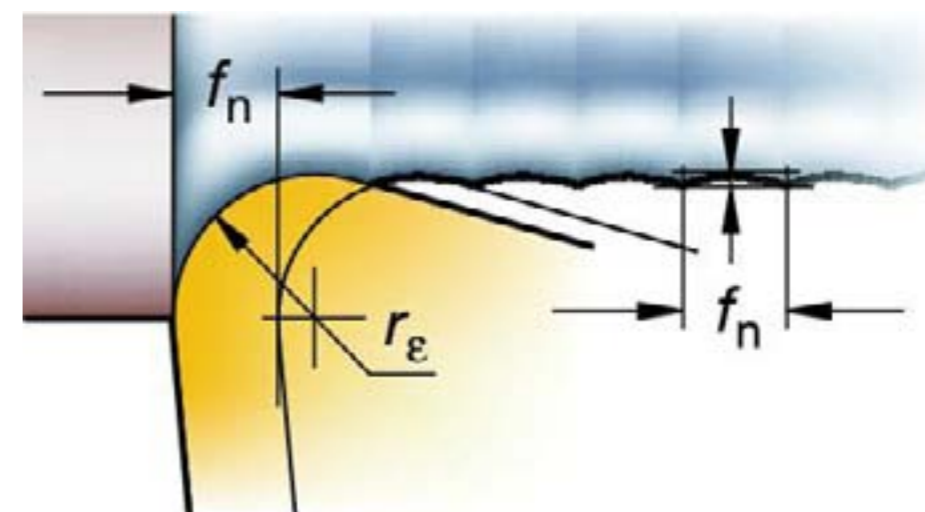
Za mała	Za duża
– powstawanie narostu	– szybkie zużycie powierzchni
przyłożenia	
– powstawanie narostu	– zła jakość powierzchni
– zła jakość powierzchni	– szybkie zużycie kraterowe
– nieekonomiczna obróbka	– odkształcenia plastyczne

Przy doborze narzędzi i określaniu parametrów obróbki ważny jest dobór właściwego promienia naroża płytki.

Na wybór promienia naroża mają wpływ:

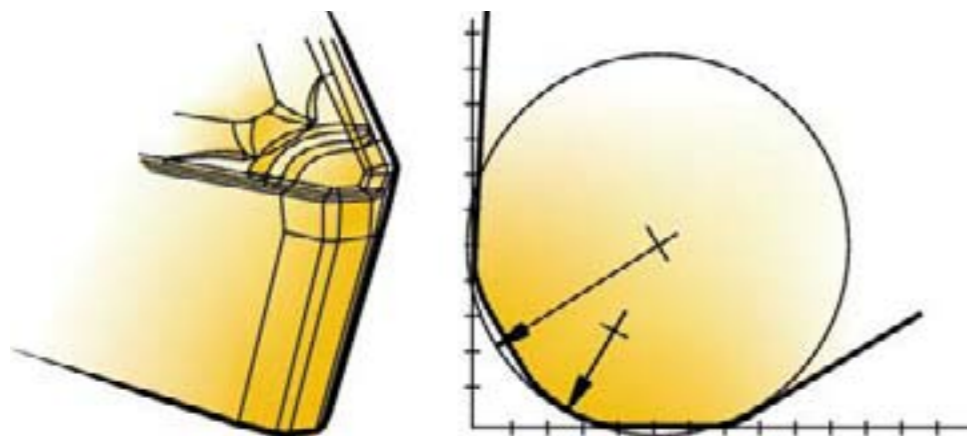
- głębokość skrawania (nie powinna być mniejsza od 2/3 promienia),
- posuw (nie powinien być mniejszy niż 1/2 promienia),
- chropowatość powierzchni – możemy obliczyć ze wzoru:

$$R_{\max} = (f_n \times 1000) / (8 \times r_\epsilon)$$



- łamanie wiórów,
- wytrzymałość płytki.

Płytki Wiper (Toczenie) – inaczej płytki dogładzająca



Naroże w płytce Wiper posiada zmodyfikowaną budowę. Modyfikacja ta polega na tym, że w promień płytki wpisana jest kombinacja 3 do 9 różnych promieni. Zwiększa to długość styku narzędzia z obrabianym przedmiotem i w pozytywny sposób wpływa na wielkość posuwu lub chropowatość powierzchni.

Praktyczne reguły dotyczące płytek Wiper: dwa razy większy posuw – taka sama chropowatość powierzchni, co w płytce tradycyjnej, taki sam posuw – dwa razy lepsza chropowatość, co w płytce tradycyjnej. Efekt płytek wiper działa tylko na powierzchniach walcowych i czołowych, nie działa na powierzchniach stożkowych i kształtowych.

Płytki Wiper (Frezowanie) – inaczej płytki dogładzające.



Rys. 5.26 płytki Wiper zamocowanej w głowicy R245 SANDVIK

W celu uzyskania wysokiej jakości powierzchni, trzeba ograniczyć siły osiowe i drgania, w związku z tym należy stosować małą głębokość skrawania. W obróbce wykańczającej, zalecana osiowa głębokość skrawania wynosi 0,8 – 1,0 mm.

Płytki standardowe w połączeniu z jedną lub kilkoma płytkami dogładzającymi umożliwiają uzyskanie odpowiedniego wykończenia powierzchni. Płytki dogładzające są bardziej skuteczne przy wysokim posuwie na obrót, f_n , w frezach o większej średnicy z gęstą podziałką i wyposażonych w możliwość regulacji. Posuw na obrót może być zwiększony ok. czterokrotnie, bez utraty jakości powierzchni. Płytki dogładzające mogą być stosowane we frezowaniu w większości materiałów dla uzyskania dobrych chropowatości powierzchni – nawet w niekorzystnych warunkach. Przy frezowaniu z użyciem płytek Wiper uzyskuje się chropowatości $R_a < 1\mu\text{m}$.

W celu uzyskania wysokiej jakości powierzchni, trzeba ograniczyć siły osiowe i drgania, w związku z tym

należy stosować małą głębokość skrawania. W obróbce wykańczającej, zalecana osiowa głębokość skrawania wynosi 0,8 – 1,0 mm.

Krawędź płytki dogładzającej wystaje poniżej płytek frezujących o ok. 0,05 mm, kiedy jest zamocowana w stałych gniazdach płytek.

5.8 Najważniejsze zagadnienia wydajnego frezowania

Metody frezowania

- Frezowanie współbieżne – narzędzie porusza się w kierunku obrotów narzędzia – preferowana metoda frezowania; stosować zawsze jeżeli tylko pozwala na to obrabiarka, mocowanie i przedmiot obrabiany – grubość wióra ma wartość największą przy wejściu ostrza w materiał, zapobiega to tarciu i dogniataniu krawędzi przed rozpoczęciem operacji skrawania. Siły skrawania dociskają obrabiany przedmiot do stołu obrabiarki – nie stosować gdy obrabiarka ma luz – frezowanie przeciwbieżne może być korzystniejsze gdy występują duże różnice w naddatkach obrabianych przedmiotów – nie stosować przy frezowaniu płytkami ceramicznymi, ceramika jest wrażliwa na uderzenia.

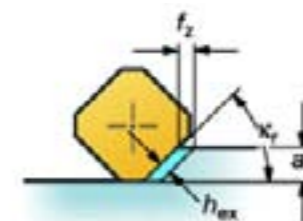
- Frezowanie przeciwbieżne – kierunek posuwu jest przeciwny do jego obrotów – grubość wióra zaczyna się od zera i rośnie w kierunku wyjścia narzędzia z materiału – duże naprężenia przy wyjściu z materiału obrabianego mogą powodować niewłaściwe zużycie – krawędź skrawająca przy wejściu w materiał najpierw trze i dogniata powierzchnię, na skutek czego wytwarza się wysoka temperatura oraz następuje umocnienie przez zgniot powierzchni dla następnego ostrza. Powyższe czynniki powodują szybsze zużycie narzędzia – siły skrawania starają się oderwać przedmiot obrabiany od stołu obrabiarki.

Maksymalna grubość wióra jest najważniejszym parametrem decydującym o wydajności i poprawności procesu frezowania.

- Zbyt cienki wiór to niska wydajność frezowania oraz niebezpieczeństwo niskiej trwałości narzędzia.
- Zbyt wysoka wartość h_{ex} może doprowadzić do uszkodzenia krawędzi skrawającej.

W poradnikach producenci, poza prędkością skrawania, podają jako drugi parametr właśnie max zalecaną grubość wióra h_{ex} .

Rysunek poniżej przedstawia zależności pomiędzy maksymalną grubością wióra posuwem i kątem przystawienia głównej krawędzi skrawającej.

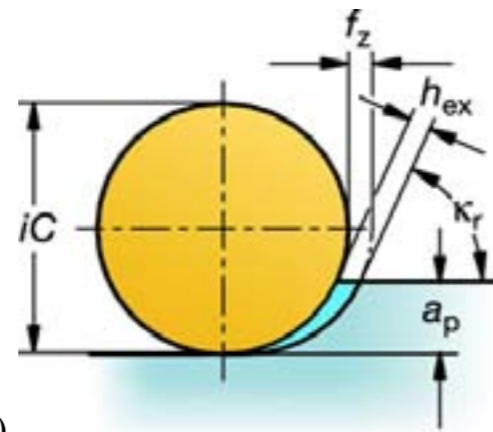


$$h_{ex} = fz \times \sin kr$$

Z powyższej zależności wynika, że aby zwiększyć wydajność frezowania trzeba zastosować frez z mniejszym kątem przystawienia głównej krawędzi skrawającej.

Takie możliwości dają:

- Frezy z płytkami okrągłymi i dużym promieniem naroża. Najlepsze efekty uzyskuje się gdy głębokość skrawania nie przekracza wartości równej 25% x średnica płytki iC.



$$f_z = (h_{ex} \times i_C) / (2 \times \sqrt{a_p \times i_C - a_p^2})$$

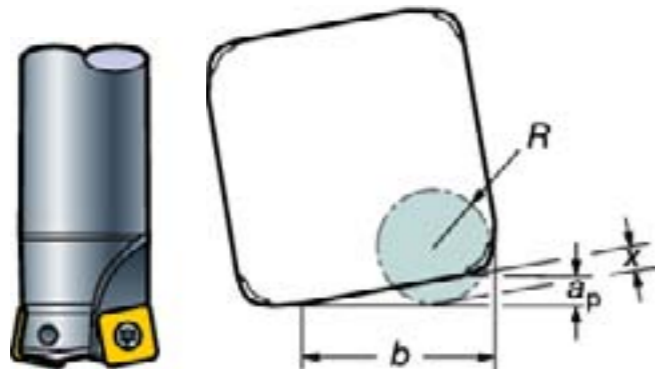
Grubość wióra, h_{ex} , zmienia się przy płytkach okrągłych i zależy od kąta przystawienia.

Przy niskich wartościach stosunku a_p/i_C , posuw może być znacząco zwiększony, w celu podniesienia grubości wióra do żądanego poziomu.

- Dla większych głębokości skrawania, zaleca się użycie płytek kwadratowych ze stałym kr równym 45° , rysunek wyżej. Należy przy tym przestrzegać zalecanej max głębokości skrawania.

- Frezy z małym kątem przystawienia.

Maksymalna grubość wióra zmniejsza się znacznie dzięki małemu kątowi przystawienia. Pozwala to zastosować bardzo wysokie prędkości posuwu, bez przeciążania płytek.



W odpowiednich warunkach można zastosować posuw na ostrze f_z , aż do 4 mm/ostrze i uzyskać objętościową wydajność usuwania metalu (Q) rzędu 1400 cm³/min.

5.9 Oprzyrządowanie technologiczne obrabiarek

Coto jest i do czego służy oprzyrządowanie technologiczne, nie trzeba wyjaśniać. Jaką rolę spełnia w przypadku obrabiarek konwencjonalnych, też doskonale wiemy. Ważne jest czym różni się oprzyrządowanie stosowane na obrabiarkach CNC od tego na obrabiarkach konwencjonalnych? Aby to dobrze zrozumieć i zaprojektować dobre oprzyrządowanie na obrabiarki CNC trzeba w pierwszej kolejności znać możliwości technologiczne poszczególnych grup obrabiarek SN.

W następnym kolejności obowiązują następujące zasady:

- W przypadku procesów na obrabiarki sterowane numerycznie to obrabiarka i narzędzia zapewniają jakość wykonywanych przedmiotów.
- Przy wyborze koncepcji obróbki wybrać tę z najmniejszą liczbą mocowań – najlepiej jedno mocowanie.

- Jeżeli nie jest możliwa obróbka przedmiotu w jednym zamocowaniu to pierwsze zamocowanie powinno zapewniać wykonanie baz obróbczych i elementów mocowania do dalszych operacji.
- Zamocowanie większej liczby detali zwiększa produktywność.
- Koncentracja zabiegów poprawia jakość wykonania.
- Podział procesu technologicznego na elementy składowe decyduje o konstrukcji przyrządów mocujących.
- Przyrządy powinny zapewnić możliwie max sztywność układu: obrabiarka, przedmiot, przyrząd, narzędzie.
- W przypadku kiedy ta zasada zawodzi w pierwszej kolejności zmieniać sposób mocowania, dopiero w drugiej kolejności weryfikować parametry.
- To technolog projektuje przyrządy mocujące; konstruktor oprzyrządowania jest tylko wykonawcą jego koncepcji.

W przypadku obrabiarek sterowanych numerycznie dąży się maksymalnie do mocowania detali w oprzyrządowaniu uniwersalnym, wszędzie tam gdzie to tylko jest możliwe. Dopiero jeżeli nie ma możliwości zamocowania w przyrządach uniwersalnych projektowane są przyrządy specjalne. Oczywiście te relacje zmieniają się w zależności od wielkości produkcji.

W przypadku tokarek SN na oprzyrządowanie składały się będą:

- uchwyty tokarskie samocentrujące,
- szczęki specjalne do uchwytów,
- kły zabierakowe,
- tuleje zaciskowe (automaty prętowe),
- trzpienie tokarskie,
- przyrządy tokarskie.

W przypadku centr obróbczych będą to:

- specjalne przyrządy mocujące; w tym przyrządy hydrauliczne,
- uniwersalne przyrządy mocujące:
- uchwyty tokarskie,
- imadła maszynowe,
- płyty kątowe,
- stoły magnetyczne.

Przy projektowaniu procesu, na OSN a więc i przyrządów mocujących obowiązują następujące zasady:

- zamocowanie większej liczby detali zwiększa produktywność,
- koncentracja zabiegów poprawia jakość wykonania,
- podział procesu technologicznego na elementy składowe decyduje o konstrukcji przyrządów mocujących,
- przyrządy powinny zapewnić możliwie max sztywność układu: obrabiarka, przedmiot, przyrząd,

narzędzie,

- w przypadku kiedy ta zasada zawodzi w pierwszej kolejności zmieniać sposób mocowania, dopiero w drugiej kolejności weryfikować parametry,
- przyrządy powinny zapewnić możliwie max sztywność układu: obrabiarka, przedmiot, przyrząd, narzędzie,
- w przypadku kiedy ta zasada zawodzi w pierwszej kolejności zmieniać sposób mocowania, dopiero w drugiej kolejności weryfikować parametry,
- to technolog projektuje przyrządy mocujące; konstruktor oprzyrządowania jest tylko wykonawcą jego koncepcji.

5.10 Uzbrojenie i ustawienie obrabiarki SN

Bez względu na rodzaj obrabiarki czynności, jakie trzeba wykonać przed rozpoczęciem procesu produkcji są następujące:

- w pierwszej kolejności należy zamocować oprzyrządowanie technologiczne na obrabiarce,
- następnie skompletować narzędzia konieczne do wykonania operacji technologicznej,
- zmierzyć wartości kompensacji, długości i promieni narzędzi,
- załadować narzędzia do magazynu lub głowicy narzędziowej,
- wprowadzić wartości kompensacji długości i promienia do pamięci obrabiarki,
- dokonać pomiaru (lub pomiarów zer technologicznych) zera technologicznego dla obrabianego przedmiotu,
- wprowadzić wartości pomiarów zera (lub zer) do pamięci obrabiarki,
- wykonać procedurę uruchamiania nowego programu lub programu uruchamianego cyklicznie,
- dokonać niezbędnych korekt mających na celu uzyskanie przedmiotu zgodnego z dokumentacją konstrukcyjną.

5.11 Programowanie obrabiarek sterowanych numerycznie

Co to jest programowanie obrabiarek sterowanych numerycznie?

- Programowanie jest to zapis przebiegu procesu technologicznego na poziomie operacji lub procesu produkcji. W porównaniu do obrabiarek konwencjonalnych nie ma różnicy, co do definicji operacji lub zabiegu.
- Każda operacja obróbki na obrabiarce SN dzieli się w sposób naturalny na zabiegi obróbki wykonywane kolejnymi narzędziami.
- Każdy zabieg to zapis ruchu narzędzia w przestrzeni roboczej obrabiarki.

Ponadto dla każdego narzędzia należy zdefiniować następujące elementy:

- parametry skrawania (Obroty wrzeciona i posuw),
- włączenie obrotów, chłodziwa,
- numery rejestrów, z których wczytywane są wartości korekcji długości narzędzia, promienia narzędzia, zero technologiczne,

- drogę narzędzia względem przedmiotu obrabianego,
- sposób przemieszczania się narzędzia (ruch szybki lub ruch z posuwem roboczym),
- zakończenie pracy narzędzia – wymiana na następne.

Na tym można by było zakończyć kurs programowania. Jest to uniwersalny algorytm obowiązujący dla każdego systemu sterowania. Teraz należy sięgnąć do instrukcji programowania konkretnej obrabiarki i poznać sposoby zapisu pracy obrabiarki, np. instrukcji programowania HEIDENHAIN iTNC530. Jest ona dostępna na stronie: <http://www.heidenhain.pl/>.

Jest jeszcze jedna bardzo ważne zagadnienie. Mianowicie przed przystąpieniem do programowania należy poznać możliwości technologiczne obrabiarki, aby je wykorzystać podczas pisania programu.

HEIDENHAIN iTNC530, to ciekawy i przyjazny zarówno dla operatora jak i programisty system sterowania. Programy piszemy albo bezpośrednio na obrabiarce, albo na komputerze wyposażonym w specjalny pulpit, który jest kopią pulpitu obrabiarki. Z ww strony można również pobrać wersję demo, ogranicza program do 100 linii.

System HEIDENHAIN jest inny od wszystkich, które oparte są na kodach ISO, czyli takich, o których traktuje większość literatury.

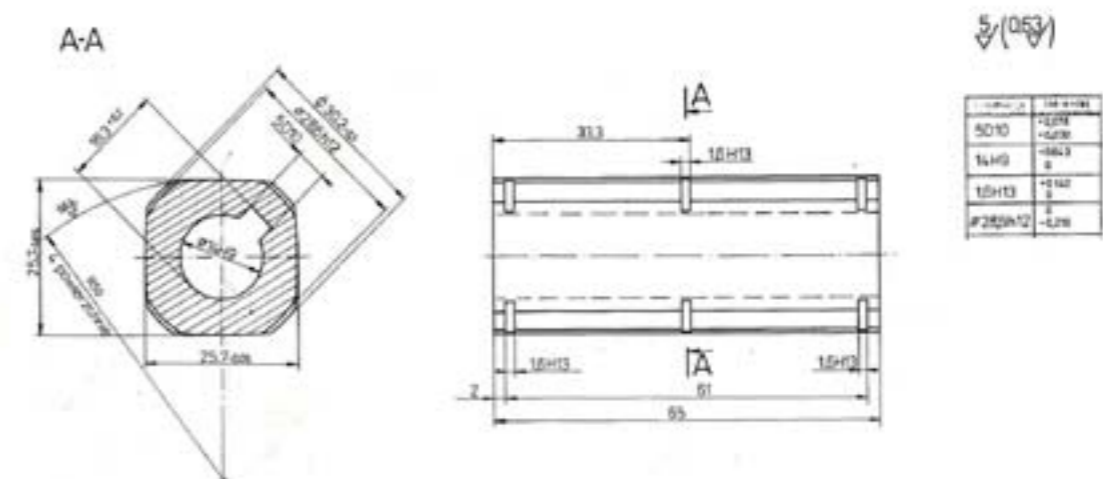
Pisząc lub edytując program wybieramy wszystkie komendy z pulpitu. System podpowiada nam ciągle, co wpisać. Nie możemy wpisać nic niepotrzebnego. Pozwala to zaoszczędzić czas na korygowanie błędów, oraz na niepotrzebne uczenie się komend na pamięć.

Tego opracowania nie można traktować jak instrukcji programowania, bo byłby to plagiat.

Poniżej spróbuję państwu opisać sposób, którym ja uczyłem programowania swoich młodszych kolegów.

Na początek przykład gotowego programu. Niech będzie to program obróbki detalu z przykładu w rozdziale Ekonomia obróbki skrawaniem. Aby było łatwiej jeszcze raz zamieszczę rysunek detalu.

Jest to program obróbki do operacji nr 25 wykonywanej na centrum pionowym DMF 300 Linear.



Rys. 5.27 Przykład obrabianego detalu. Koncepcja obróbki jest następująca:

- Materiałem jest przygotówka wykonana w operacjach 10–20. Jest to wałek o średnicy $\phi 30.2(-0.1)$ i długości $l=133(-0.2)$, ta długość zawiera wykonanie dwóch detali oraz 3mm na rozcięcie frezem piłkowym. Tolerancja długości zawężona technologicznie do 0.2mm pozwala na uzyskanie powtarzalnych detali po rozcięciu. Wykonane są także kanałki 1.6H13.
- Detal mocowany jest w dwóch niezależnych uchwytach tokarskich na podstawach umożliwiających zamocowanie na stole. Jeden uchwyt trzy szczękowy, drugi cztero szczękowy.
- W uchwycie trzy szczękowym mocujemy przygotówkę; w ten sposób, że ponad połowa długości wystaje ponad szczęki uchwytu. W tym mocowaniu frezujemy 4 promienie R50, wiercimy i rozwiercamy otwór $\phi 14H9$ do połowy przygotówki.
- W uchwycie cztero szczękowym mocujemy detal obrobiony z pierwszego mocowania za obrobione promienie R50. W tym mocowaniu także frezujemy 4 promienie R50, wiercimy i rozwiercamy otwór $\phi 14H9$ do połowy przygotówki. Na końcu rozcinamy detale na dwie połowy frezem piłkowym.

Poniżej zamieszczony jest wydruk programu obróbki oraz pulpit obrabiarki.



Rys. 5.28 Pulpit obrabiarki

```

0 BEGIN PGM 5270-130-201zw MM
1 BLK FORM 0.1 Z X-200 Y-200 Z-200
2 BLK FORM 0.2 X+200 Y+200 Z+200
3 ;Nowy program: Przygotowki ciete na 2 sztuki
4 ;Dwa mocowania:
5 ;I Uchwyt 3-szczekowy (70)
6 ;II uchwyt 4-szczekowy (71)
7 ;T132 Wiertlo 13.8 zwykle
8 ;T150 Poglebiacz 45'
9 ;T88 Rozwiertak 14H9 KOMET
10 ;T124 Obtaczak specjalny R50 SANDVIK
11 ;T32 Frez pilkowy
12 CYCL DEF 247 USTAWIENIE PKT.BAZ ~
    Q339=+70 ;NR PKT ODNIESIENIA
13 TOOL CALL 132 Z S900 F250 ;Wiertlo D13,8 zwykle
14 LBL 1
15 L X+0 Y+0 R0 FMAX M13 M7
16 CYCL DEF 205 GLEBOKIE WIERCENIE ~
    Q200=+3 ;BEZPIECZNA WYSOKOSC ~
    Q201=-70 ;GLEBOKOSC ~
    Q206= AUTO ;WARTOSC POSUWU WGL. ~
    Q202=+20 ;GLEBOKOSC DOSUWU ~
    Q203=+0 ;WSPOLRZEDNE POWIERZ. ~
    Q204=+100 ;2-GA BEZPIECZNA WYS. ~
    Q212=+4 ;WART. ZMNIEJ. DOSUWU ~
    Q205=+7 ;MIN. GLEBOK. DOSUWU ~
    Q258=+3 ;GORNA BEZP.ODLEGLOSC ~
    Q259=+1 ;DOLNA BEZP. ODLEGL. ~
    Q257=+0 ;GLEB.ZLAMANIA. WIORA ~
    Q256=+0 ;WYCOF.DLA ZLAM.WIORA ~
    Q211=+0 ;PRZERWA CZAS. DNIE ~
    Q379=+0 ;PUNKT STARTU ~
    Q253=+0 ;PREDK. POS. ZAGLEB.
17 CYCL CALL
18 LBL 0
19 CYCL DEF 247 USTAWIENIE PKT.BAZ ~
    Q339=+71 ;NR PKT ODNIESIENIA
20 CALL LBL 1
21 L Z+200 FMAX M5 M9
22 TOOL CALL 150 Z S1500 F300 ;Poglebiacz 45 stopni
23 L X+0 Y+0 R0 FMAX M3 M8
24 LBL 2
25 CYCL DEF 200 WIERCENIE ~
    Q200=+0 ;BEZPIECZNA WYSOKOSC ~
    Q201=-4.5 ;GLEBOKOSC ~
    Q206= AUTO ;WARTOSC POSUWU WGL. ~
    Q202=+4.5 ;GLEBOKOSC DOSUWU ~
    Q210=+0 ;PRZER. CZAS.NA GORZE ~
    Q203=+0 ;WSPOLRZEDNE POWIERZ. ~
    Q204=+100 ;2-GA BEZPIECZNA WYS. ~

```

Q211=+0 ;PRZERWA CZAS. DNIE
 26 CYCL CALL
 27 LBL 0
 28 CYCL DEF 247 USTAWIENIE PKT.BAZ ~
 Q339=+70 ;NR PKT ODNIESIENIA
 29 L X+0 Y+0 R0 FMAX
 30 CALL LBL 2
 31 L Z+200 R0 FMAX M5 M9
 32 TOOL CALL 88 Z S2000 F650 ;Rozwiertak D14H9 HSS KOMET
 33 LBL 3
 34 L X+0 Y+0 R0 FMAX M13 M7
 35 CYCL DEF 201 ROZWIERCANIE ~
 Q200=+3 ;BEZPIECZNA WYSOKOSC ~
 Q201=-66 ;GLEBOKOSC ~
 Q206= AUTO ;WARTOSC POSUWU WGL. ~
 Q211=+0 ;PRZERWA CZAS. DNIE ~
 Q208=+2000 ;POSUW RUCHU POWROTN. ~
 Q203=+0 ;WSPOLRZEDNE POWIERZ. ~
 Q204=+100 ;2-GA BEZPIECZNA WYS.
 36 CYCL CALL
 37 LBL 0
 38 CYCL DEF 247 USTAWIENIE PKT.BAZ ~
 Q339=+71 ;NR PKT ODNIESIENIA
 39 CALL LBL 3
 40 L Z+300 R0 FMAX M5 M9
 41 TOOL CALL 124 Z S1200 F400 ;Obtaczak sp. R50 SANDVIK
 42 L X+0 Y+0 R0 FMAX M3 M7
 43 LBL 4
 44 L X-37.2 Y+0 R0 FMAX ;wymiar 25.7(-0.05)
 45 L Z+3 R0 FMAX
 46 L Z-67 R0 F AUTO
 47 L X-35 Y+0 R0 F AUTO
 48 L Z+50 R0 FMAX
 49 LBL 0
 50 CYCL DEF 10.0 OBROT
 51 CYCL DEF 10.1 ROT+90
 52 CALL LBL 4
 53 CYCL DEF 10.0 OBROT
 54 CYCL DEF 10.1 ROT+180
 55 CALL LBL 4
 56 CYCL DEF 10.0 OBROT
 57 CYCL DEF 10.1 ROT+270
 58 CALL LBL 4
 59 CYCL DEF 247 USTAWIENIE PKT.BAZ ~
 Q339=+70 ;NR PKT ODNIESIENIA
 60 CALL LBL 4
 61 CYCL DEF 10.0 OBROT
 62 CYCL DEF 10.1 ROT+180
 63 CALL LBL 4
 64 CYCL DEF 10.0 OBROT

65 CYCL DEF 10.1 ROT+90
 66 CALL LBL 4
 67 CYCL DEF 10.0 OBROT
 68 CYCL DEF 10.1 ROT+0
 69 CALL LBL 4
 70 L Z+200 R0 FMAX M5 M9
 71 L X+20 Y+20 R0 FMAX
 72 TOOL CALL 32 Z S600 F750 ;Frez pilkowyD125x3
 73 CYCL DEF 247 USTAWIENIE PKT.BAZ ~
 Q339=+71 ;NR PKT ODNIESIENIA
 74 L X-65 Y+65 R0 FMAX M3 M8
 75 L Z-68 R0 FMAX
 76 L X-65 Y+0.2 RL F AUTO
 77 L X+15 Y+0.2 RL F AUTO
 78 L X+70 Y+65 R0 F5000
 79 L Z+70 R0 FMAX
 80 L X+70 Y-65 R0 FMAX
 81 L Z-68 R0 FMAX
 82 L X+65 Y-65 R0 FMAX
 83 L X+65 Y-0.2 RL F AUTO
 84 L X-15 Y-0.2 RL F AUTO
 85 L X-65 Y-80 R0 F5000
 86 L Z+200 R0 FMAX M5 M9
 87 L X+20 Y+20 R0 FMAX
 88 TOOL CALL 132 Z
 89 END PGM 5270-130-201zw MM

Ten program jak każdy inny napisany w dowolnym systemie musi mieć odpowiednią składnię, aby obrabiarka mogła właściwie wykonać poszczególne komendy.

Podstawowym elementem programu jest linia, obrabiarka wykonuje komendy zapisane w kolejnych liniach. W przypadku systemu HEIDENHAIN iTNC 530, linie generują się automatycznie. Po wykasowaniu, jak i dopisaniu następuje automatyczne przenumerowanie wszystkich linii programu.

Dla HEIDENHAIN iTNC 530 linia nr **0** to początek programu.

Składa się z komendy: BEGIN PGM

Po której następuje nr programu: 5270–130–201zw

Kończy się symbolicznym oznaczeniem układu jednostek w jakim podawane są wymiary, w tym przypadku MM oznacza układ metryczny (może być jeszcze calowy).

Linia nr 89 to koniec programu: komenda END PGM, programu nr 5270–130–201zw w metrycznym układzie pomiarowym MM.

Linie nr 1 i 2 to linie w których określamy granice obszaru symulacji. Współrzędne X, Y, Z, w tych liniach definiują płaszczyzny ograniczające pole symulacji.

Wszystko co jest zapisane po znaku średnika to komentarz, czyli informacja dla operatora lub programisty; komentarze są ignorowane przez system sterowania.

W przypadku tego programu linie nr 3 do 11 to właśnie komentarze w których zapisano co obrabiamy, numery zer technologicznych i narzędzia którymi prowadzona jest obróbka.

Linia nr 12: 12 CYCL DEF 247 USTAWIENIE PKT.BAZ ~
Q339=+70;NR PKT ODNIESIENIA

To linia w której zapisany jest nr rejestru w którym zapisane jest zero technologiczne, w tym przypadku 70. Praktycznie odbywa się to tak, że na pulpicie naciskamy przycisk „**CYCL DEF**”.

Na dole ekranu wyświetli się nam szereg możliwych do wyboru grup cykli. Wybieramy przycisk „**Punkty wzorce przeliczeniowe**”. Po naciśnięciu tego przycisku wyświetlą się możliwe do wyboru cykle z tej grupy. Wybieramy cykl **247**, jest to właśnie cykl wywołujący zero technologiczne. My wpisujemy tylko numer tego zera, w tym przypadku 70, i kończymy linię przyciskiem „**END**”. System jest gotowy do wpisania nowej komendy. W przyszłości możemy tą linię edytować z poziomu programu i zmienić numer zera. Oczywiście, rzeczywiste wartości współrzędnych zera technologicznego dla tego detalu muszą być zapisane pod tym właśnie numerem.

Linia nr 13: 13 TOOL CALL 132 Z S900 F250;Wiertło D13,8 zwykle.

To linia wyboru i wymiany narzędzia nr **132**, **Z** to oś, w której będzie uwzględniana kompensacja długości narzędzia, S900 to ilość obrotów wrzeciona, F250 posuw roboczy w mm/min, po średniku komentarz, w tym przypadku opis narzędzia.

Linia nr 14: 14 LBL 1 to początek podprogramu nr 1.

Linia nr 15: 15 L X+0 Y+0 R0 FMAX M13 M7 obrabiarka pojedzie po linii prostej na pozycję o współrzędnych **X+0** i **Y+0** względem aktywnego zera technologicznego, bez uwzględniania korekcji promienia narzędzia **R0**, z maksymalną prędkością **FMAX**, ponadto włączą się prawe obroty wrzeciona i chłodziwo doprowadzane z zewnętrznych dysz **M13**, włączone zostanie także chłodziwo przez wrzeciono **M7**.

W systemie Dla HEIDENHAIN iTNC 530 nie ma pojęcia ruchu szybkiego (odpowiednik G0 z systemów opartych na kodach ISO), jest tylko pojęcie interpolacji liniowej, czyli ruchu po linii prostej do zadanego punktu. Może się to odbywać z zadanym posuwem lub z posuwem maksymalnym FMAX.

Linia nr 16: 16 CYCL DEF 205 GLEBOKIE WIERCENIE ~
Q200=+3;BEZPIECZNA WYSOKOSC ~
Q201=-70;GLEBOKOSC ~
Q206= AUTO;WARTOSC POSUWU WGL. ~
Q202=+20;GLEBOKOSC DOSUWU ~
Q203=+0;WSPOLRZEDNE POWIERZ. ~
Q204=+100;2-GA BEZPIECZNA WYS. ~
Q212=+4;WART. ZMNIEJ. DOSUWU ~
Q205=+7;MIN. GLEBOK. DOSUWU ~
Q258=+3;GORNA BEZP.ODLEGLOSC ~
Q259=+1;DOLNA BEZP. ODLEGL. ~
Q257=+0;GLEB.ZLAMANIA. WIORA ~
Q256=+0;WYCOF.DLA ZLAM.WIORA ~
Q211=+0;PRZERWA CZAS. DNIE ~
Q379=+0;PUNKT STARTU ~

Q253=+0;PREDK. POS. ZAGLEB.

W tej linii wywołany jest cykl nr 205, a jest to cykl głębokiego wiercenia. Oczywiście nie piszemy tego całego tekstu. Po wybraniu cyklu 205, przechodzimy do kolejnych linii i wypełniamy tylko wartości następujące po znaku równości za zmiennymi **Q**. System dodatkowo wspomaga nas graficzną interpretacją poszczególnych zmiennych.

Linia nr 17: 17 CYCL CALL to polecenie wykonania cyklu.

Linia nr 18: 18 LBL 0 oznacza koniec podprogramu.

Linia nr 19: 19 CYCL DEF 247 USTAWIENIE PKT.BAZ ~
Q339=+71;NR PKT ODNIESIENIA

Wczytujemy zero technologiczne dla drugiego uchwytu, współrzędne punktu zerowego zapisane są w rejestrze nr 71.

Linia nr 20: 20 CALL LBL 1 system dostaje polecenie wykonania podprogramu 1, czyli wykonuje ponownie linie 14 do 18, po czym przechodzi do wykonania linii 21.

Linia nr 21: 21 L Z+200 FMAX M5 M9 to wyjazd w osi Z na pozycję Z+200 z maksymalną prędkością, wyłączenie obrotów **M5** i wyłączenia chłodziwa **M9**.

Linia nr 22: 22 TOOL CALL 150 Z S1500 F300;Pogłębiacz 45 stopni; Wymiana narzędzia na narzędzie nr 150 i jak wynika z komentarza jest to pogłębiacz 45 stopni, którym będą wykonane fazy w otworach.

Komendy zawarte w liniach od 22–do 43 były już omawiane więc nie będzie kłopotu ze zrozumieniem działania tej części programu. Dla pogłębiacza i rozwiertaka użyte są inne cykle stałe, różnice między tymi cyklami poznamy analizując parametry **Q** użyte w tych cyklach.

Linia nr 43: 43 LBL 4; rozpoczyna się podprogram nr 4.

Linia nr 44: 44 L X-37.2 Y+0 R0 FMAX;wymiar 25.7 (-0.05) Narzędzie ustawia się w punkcie o współrzędnych X-37.2 i Y+0 względem aktualnego zera technologicznego. Komentarz wyjaśnia jaki wymiar będziemy uzyskiwali.

Linia nr 45: 45 L Z+3 R0 FMAX; Dojazd w osi Z na pozycję Z+3 (3 mm od materiału).

Linia nr 46: 46 L Z-67 R0 F AUTO; narzędzie przemieszcza się ruchem F AUTO do punktu o współrzędnych Z-67. Przez f AUTO rozumiemy posuw zdefiniowany w bloku wymiany narzędzia, mamy więc w tym przypadku F AUTO = 400.

Linia nr 47: 47 L X-35 Y+0 R0 F AUTO; odjazd od materiału na współrzędną X-35.

Linia nr 48: 48 L Z+50 R0 FMAX; wyjazd ruchem szybkim do punktu o współrzędnych Z+50.

Linia nr 49: 49 LBL 0; koniec podprogramu nr 4.

Wykonując podprogram nr 4 narzędzie wykonuje jedną powierzchnię opisaną promieniem R50. (Promień R50 zapewnia narzędzie) i wymiarem 25.7(-0.05).

Linie nr 50 i 51: 50 CYCL DEF 10.0 OBRROT.
51 CYCL DEF 10.1 ROT+90 definiują obrót układu współrzędnych.

Praktycznie odbywa się to w ten sposób, że wybieramy cykl obrotu układu współrzędnych i wpisujemy wartość o jaką chcemy obrócić układ po słowie ROT.

W ten sposób obracając układ współrzędnych kolejno o 90, 180 i 270 stopni oraz wykonując podprogram nr 4 (CALL LBL 4), uzyskamy 4 powierzchnie opisane promieniem R50.

Nie zapominajmy o tym, że obrabiamy dwa detale. Wywołujemy drugie zero technologiczne (tu nr 70) jest to:

Linia nr 59: 59 CYCL DEF 247 USTAWIENIE PKT.BAZ ~
Q339=+70;NR PKT ODNIESIENIA.

W kolejnych liniach tj. od linii 60 do linii 69, wykorzystując podprogram nr 4 i cykl obrotu układu współrzędnych wykonywane są „powierzchnie R50” dla drugiego detalu.

W linii nr 72: 72 TOOL CALL 32 Z S600 F750; Frez piłkowy D125x3 następuje wymiana nadrzędna na frez piłkowy o średnicy $\phi 125$ i szerokości 3mm.

Tym narzędzie rozcinamy obrabiany element na dwie równe połowy o długości $l=65$ mm.

Rozcinanie odbywa się w ten sposób, że nadcinamy z dwu stron, pozostawiając niedocięcie o szerokości 0.4mm (2×0.2 – patrz współrzędne Y w liniach 76, 77 i 83, 84). Aby uzyskać dwa detale trzeba rozłamać, ale unikamy w ten sposób niebezpieczeństwa uszkodzenia narzędzia.

W linii nr 88: 88 TOOL CALL 132 Z; to wymiana narzędzia na pierwsze narzędzie w programie.

Dla kogoś kto nie programował jeszcze OSN, taka analiza gotowego programu pozwala poznać samą istotę programowania, składnię programu, instrukcje używane do zapisania programu stają się zrozumiałe i przekładają się na konkretne ruchy obrabiarki. W następnej kolejności należy zaprezentować działanie takiego programu w praktyce. Kolejny krok to zapoznanie się z instrukcją programowania. Dalej to już samodzielne opracowanie programu. Oczywiście wszystkie założenia dotyczące zamocowania, narzędzi użytych do obróbki muszą być uzgodnione.

I tak po napisaniu i uruchomieniu kilkudziesięciu programów obróbki różnych detali, możemy uznać, że jesteśmy programistą?

Mógłbym w tym miejscu zacząć opisywać jeszcze wiele różnych funkcji i cykli jakie daje nam do dyspozycji system HEIDENHAIN iTNC 530. Byłoby to jednak powielanie ogólnie dostępnej instrukcji (dzisiaj jest to możliwe dzięki Internetowi).

Zachęcam więc, zgodnie z przedstawioną wyżej kolejnością nauki programowania, do zapoznania się z instrukcją. Ma co prawda aż 512 stron, ale moim zdaniem warto. Zalety pisania programów w systemie HEIDENHAIN iTNC 530 postaram się zaprezentować Państwu podczas praktycznej części kursu.

6. WSTĘP DO TECHNOLOGII GIĘCIA NA PRASACH KRAWĘDZIOWYCH STEROWANYCH NUMERYCZNIE

6.1 Wprowadzenie

Uniwersalność i elastyczność to dzisiaj bardzo pożądane cechy technologii. Przyczyną tego jest szybki rozwój produktu wymuszany przez rynek. Szybkie dostosowanie oferty do potrzeb klientów i pokonanie konkurencji to główne zdanie każdej firmy. Ciągłe zmiany konstrukcji i wprowadzanie nowych wyrobów nie pozwalają na stosowanie metod opartych na przyrządach i narzędziach specjalnych. Są one drogie i najczęściej używane do wykonania tylko jednego detalu. Ich koszt, przy coraz krótszych seriach produkcyjnych, zdecydowanie przekracza korzyści wynikające ze skrócenia czasu wytwarzania części. Tylko w przemyśle samochodowym, gdzie serie dochodzą do kilkuset tysięcy sztuk, ich stosowanie jest uzasadnione. Pozostali wytwórcy muszą jednak dobierać metody opłacalne już nawet dla kilkuset detali. Nic dziwnego, że wielki rozkwit przeżywają technologie oparte na maszynach sterowanych numerycznie. Jeszcze parę lat temu CNC kojarzyło się głównie z obróbką skrawaniem. Dzisiaj praktycznie można je spotkać wszędzie. Zadaniem tej części podręcznika jest pokazanie możliwości i obszarów stosowania metod numerycznych dla obróbki blach, które nadal są podstawowym materiałem wyjściowym dla dużej części przemysłu.

6.2 Typy gięcia

Rozróżniamy trzy podstawowe typy gięć:

- gięcie swobodne,
- gięcie z dobieciem,
- gięcie z trwałą deformacją.

Podział ten wynika ze sposobu realizacji procesu. Ma tutaj znaczenie kształt narzędzi i siła nacisku. Kryteria doboru właściwej metody to przede wszystkim geometria detalu, wymagana dokładność i rodzaj materiału. Nie małe znaczenia mają tu również koszty związane np. z zakupem narzędzi specjalnych. Niestety nie zawsze udaje się tego uniknąć jeśli detal jest trudny technologicznie do wykonania. Problemem może tutaj być np. zbyt mała odległość otworów od linii gięcia czy wymiary detalu. W jaki sposób należy wtedy postępować dowiemy się w dalszej części podręcznika.

6.3 Gięcie swobodne

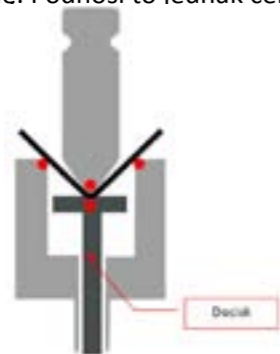
Gięcie swobodne jest najczęściej stosowaną metodą. Detal leży podparty na krawędziach matrycy. Stempel schodząc w dół powoduje jego wygięcie aż do osiągnięcia zadanego kąta. Uwzględniana jest tu również korekta wynikająca z kąta sprężynowania. Jest to najbardziej uniwersalny sposób. Na tym samym zestawie narzędzi (stempel + matryca) można otrzymać różne kąty. Sterownie kontroluje siłę nacisku i wysokość położenia stempla.



Rys. 6.1 Gięcie swobodne

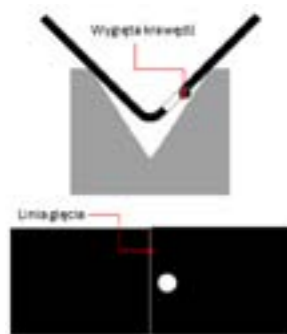
Rysunek przedstawia schemat typowego gięcia swobodnego. Narzędzia stykają się z detalem w trzech punktach. Różne wygięcie uzyskuje się poprzez kontrolę głębokości na jaką stempel wchodzi w matrycę. Kształt narzędzi wyznacza tylko więc tylko zakresy kątów gięcia jakie można na nich uzyskać. Nie ma bezpośredniego wpływu na ich wartość.

Na rysunku przedstawiono inny rodzaj gięcia swobodnego wykorzystywanego np. w prasach Haemmerle. Dzięki zastosowaniu docisku możliwa jest kontrola grubości detalu. Dochodzi również dodatkowy punkt trzymania. Jest to cenna pomoc dla operatora, który musi pilnować aby podczas gięcia detal nie przesunął się. Podnosi to jednak cenę krawędziarki i narzędzi.



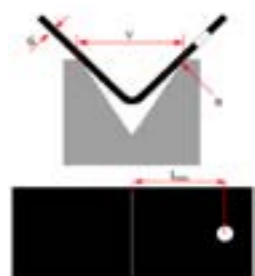
Rys. 6.2 Gięcie swobodne z podparciem

O to jeden z często spotykanych problemów w gięciu swobodnym. Niepodparta krawędź otworu wygina się powodując rozciąganie otworu. Wystaje ona również poza płaszczyznę detalu, co może utrudnić montaż części. Przyczyną tego jest zbyt bliskie położenie otworu od linii gięcia – czyli miejsca, w które uderza stempel.



Rys. 6.3 Gięcie swobodne – złe położenie otworu

Prawidłowe położenie otworu. Obie jego krawędzie są poza strefą gięcia (nie leżą między punktami podparcia detalu) i nie będą zniekształcone. Minimalna odległość jest uwarunkowana rozstawem punktów podparcia (V), zaokrągleniem R i średnicą otworu (D).



Rys. 6.4 Gięcie swobodne – prawidłowe położenie otworu

Wzór 1. Minimalna odległość otworu od linii gięcia

$$L_{min} = \frac{1}{2} \times V + R + \frac{1}{2} \times D$$

Oczywiście operator może założyć matryce o różnym V. Wartości podane w Tabeli 1 są prawdziwe dla typowych zestawów narzędzi.

Tabela 1 Szerokość matrycy w zależności od grubości

G	V
0.5-2.5	6 * G
3-8	8 * G
9-10	10 * G
> 12	12 * G

Gięcie z dociskiem

Gięcie z dociskiem stosujemy gdy chcemy uzyskać dokładny kształt wg zarysu narzędzi. Jest ono również bardziej odporne na zbyt bliskie położenie otworów w stosunku do linii gięcia. Płaszczyzna stempla dociskając detal do matrycy wyrównuje wywinięcia. Wymaga jednak dużej siły nacisku 3–5 razy większej niż przy gięciu swobodnym. Kąt jaki można tu uzyskać to kąt rozwarcia matrycy do którego musi być dopasowany stempel. Gięcie z dociskiem realizowane jest przez docisk detalu całą powierzchnią stempla do matrycy. Sterowanie kończy proces po osiągnięciu zadanej siły nacisku (w gięciu swobodnym było to zadane położenie stempla). Następnie, o ile operator nie zaprogramował czasu na przetrzymanie, suwak prasy idzie do góry.



Rys. 6.5 Gięcie z dociskiem

Gięcie z trwałą deformacją

Gięcie ze zgniotem jest stosowane bardzo rzadko i tylko w przypadku kiedy zależy nam na bardzo dokładnym gięciu. Siła potrzebna przy tym procesie jest 10–20 razy większa niż przy gięciu swobodnym. Powoduje ona trwałą deformację materiału co całkowicie zabezpiecza przed sprężynowaniem czyli odkształceniem sprężystym detalu, które następuje w momencie cofnięcia się stempla. Pozostała część procesu jest podobna do gięcia z dociskiem.

Na rysunku widać jak stempel zagłębił się w materiał. Zostaje tam trwały ślad. Nie ma żadnych odkształceń sprężystych. Uzyskany kąt jest bardzo dokładny.



Rys. 6.6 Gięcie z trwałą deformacją

6.4 Parametry gięcia

Aby operator mógł przygotować program do gięcia detalu musi mieć następujące dane:

- wymiary detalu po gięciu,
- promień gięcia,
- rodzaj materiału.

Na podstawie tych informacji można dobrać odpowiedni zestaw narzędzi. Podstawowym kryterium jest oczywiście możliwość wykonania detalu. Nie mniej ważna jest tutaj siła nacisku i wytrzymałość narzędzi.

Materiał

Gatunek materiału daje nam informację o jego wytrzymałości.

Tabela 2 Materiały – wytrzymałość

Rodzaj materiału	Wytrzymałość T (N/mm ²)
Miękkie aluminium	300
Zwykła stal (np. S235)	420
Stal o zwiększonej wytrzymałości (np. S355)	550
Stal kwasoodporna twarda	700
HARDOX	800

W tabeli podano orientacyjne wartości wytrzymałości materiałów których można używać w obliczeniach.

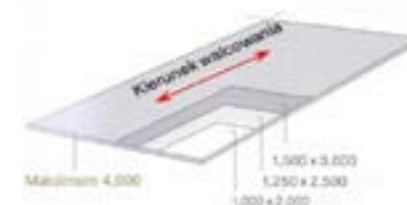


Rys. 6.7 Blacha w kręgach



Rys. 6.8 Krąg blachy – kierunek walcowania

Ważną cechą materiału na którą należy zwracać uwagę jest jego struktura, a ściślej mówiąc ułożenie włókien. Jest ono zgodne z kierunkiem walcowania, mającego miejsce w czasie procesu wytwarzania blachy.



Rys. 6.9 Arkusz blachy – kierunek walcowania

Jeśli linia gięcia jest równoległa do kierunku włókien to w czasie obróbki grubszych blach (powyżej 3mm) jest duże prawdopodobieństwo pęknięcia materiału. Należy więc unikać takiego umieszczania przygotówki detalu na rozkrojach. Niestety nie zawsze jest to możliwe. Rozwiązaniem czasem jest zwiększenie promienia gięcia lub w ekstremalnych przypadkach – gięcie na gorąco (detal jest podgrzewany).

Siła gięcia (P)

Podane wzory pozwalają w sposób wystarczająco dokładny obliczyć siłę potrzebną do wygięcia półki pod kątem 90°. W różnych źródłach można znaleźć również i inne metody ale różnice w wynikach nie są tutaj zbyt istotne. Wzory przedstawione tutaj są zwarte w katalogach narzędzi firmy LVD.

Wzór 2. Obliczenie siły gięcia

$$P = \frac{1,42 \times L \times T \times G^2}{1000 \times V}$$

Gdzie:

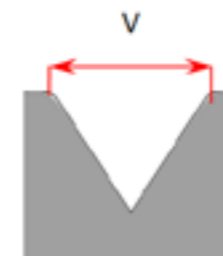
P – siła gięcia [kN]

L – długość linii gięcia [mm]

T – wytrzymałość materiału [N/mm²]

G – grubość detalu [mm]

V – szerokość otwarcia matrycy [mm]



Rys. 6.10 Szerokość otwarcia (rozwartość) matrycy

Przykład 1 Obliczenie siły gięcia

Oblicz siłę potrzebną do wygięcia detalu pod kątem 90° jeśli materiałem jest zwykła stal konstrukcyjna. Grubość detalu – 6 mm. Długość linii gięcia – 500 mm.

Dane:

L = 500 [mm]

T = 420 [N/mm²] (Tabela 2 Materiały – wytrzymałość)

G = 6 [mm]

V = 8 x G = 48 [mm] (Tabela 1 Szerokość matrycy w zależności od grubości)

$$P = \frac{1,42 \times 500 \times 420 \times 6^2}{1000 \times 48}$$

$$P = 223,65 \text{ kN}$$

Podstawiamy do wzoru:

(patrz Wzór 2 Obliczenie siły gięcia)

Ponieważ długość linii gięcia wynosiła 500 mm a w katalogach dopuszczalna wartość nacisku podawana jest na 1000 mm obliczoną wartość należałoby pomnożyć przez 2 (gdyż $1000/500 = 2$).

$P_{1000 \text{ mm}} = 447,3 \text{ kN/m}$

Teraz możemy sprawdzić w katalogu czy dobrany zestaw narzędzi (stempel i matryca) pozwala na taki nacisk. W przypadku przekroczenia najczęściej zmienia się matrycę na taką, która ma większe V.

Promień gięcia (R_w)

Jako promień gięcia przyjmuje się domyślnie wewnętrzny promień detalu (R_w). Przy gięciu swobodnym nie jest go łatwo określić. Przyjmuje się, że nie może być mniejszy niż promień stempla. Ale to tyle co wiemy na pewno. Na skutek nacisku narzędzia następuje deformacja. Jest ona tym większa im większa jest siła potrzebna do gięcia. Nietrudno więc się domyśleć, że szerokość otwarcia matrycy (V) ma wpływ na kształtowanie promienia (im większe V tym mniejsza siła).



Przy gięciu swobodnym najczęściej na skutek deformacji, promień wewnętrzny i zewnętrzny nie są współśrodkowe.

Rys. 6.11 Promień gięcia – deformacja

Wartość R_w wykorzystywana jest również w obliczeniach rozwinięć (patrz *Rozwinięcia detalu*).

Szacunkowy wzór, który możemy użyć do obliczeń:

$$R_w = \frac{5 \times V}{32}$$

Wzór 3. Promień gięcia

Gdzie V – szerokość otwarcia matrycy w mm.

Przykład 2 Obliczenie promienia gięcia

Jakiej matrycy należy użyć aby gnąć zwykłą stal grubości 6 mm uzyskać promień gięcia równy 8 mm.

Dane:

$R_w = 8 \text{ mm}$

$G = 6 \text{ mm}$

Przekształcamy wzór 3

$$V = \frac{32 \times R_w}{5}$$

$$V = \frac{32 \times 8}{5}$$

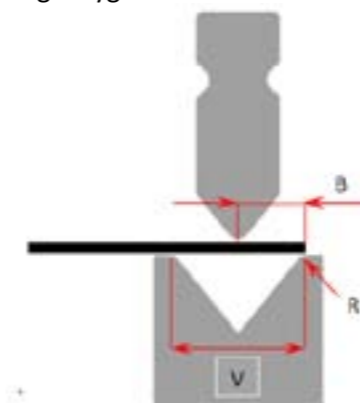
$$V = 51,2$$

Sprawdzamy teraz czy dla tej grubości jest to odpowiednia matryca (Tabela 1). Ponieważ $8 \times 6 = 48$ możemy więc przyjąć, że na matrycy $V = 51,2$ możemy giąć ten detal. Gdyby był on z jakiegoś specjalnego materiału, należałoby przeliczyć (lub sprawdzić w tabelach sił gięcia) czy nie przekroczone jest dopuszczalny nacisk. Trzeba również pamiętać, że im większa siła tym mniejszy promień. W przypadku więc „twardych” stali należy się spodziewać większego błędu. W praktyce matrycy o $V = 51,2$ nie ma w typowych katalogach. Najbliższe popularne wartości to $V = 50$ lub $V = 63$. W zależności od potrzeb wybieramy więc jedną z nich.

Minimalna półka (B)

Długość zginanej części będziemy nazywać tutaj długością(wysokością) półki lub w skrócie półką. Jest to często używana terminologia warsztatowa. Następnym parametrem, który musi być uwzględniany przy doborze narzędzi jest więc minimalna półka (B).

Jak widać na rysunku, jej wymiar musi być taki aby oba końce detalu leżały pewnie na matrycy. Nie trudno zauważyć tu podobieństwo do minimalnej odległości otworu od linii gięcia. W gięciu swobodnym materiał musi być podparty aby został prawidłowo wygięty. W innym przypadku może się przesunąć kiedy stempel będzie go wyginał.

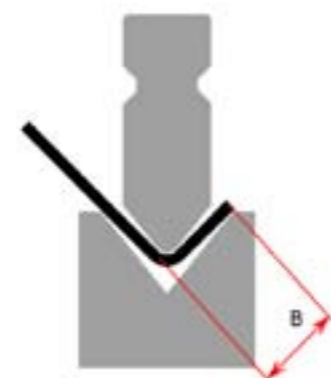


Rys. 6.12 Minimalna półka przed gięciem

$$B = \frac{1}{2} \times V + R$$

Wzór 4. Długość minimalnej półki

W praktyce należy do obliczonej wartości dodać 2 do 4 mm aby mieć pewność, że podparcie będzie wystarczająco pewne.



Rys. 6.13 Minimalna półka po gięciu

Przykład 3 Kontrola długości półki gięcia

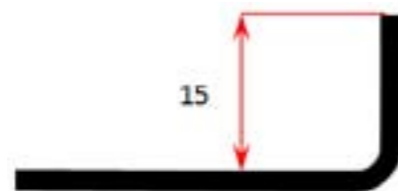
Sprawdź czy jest możliwe wygięcie półki o wymiarze 15 mm (wewnątrz) pod kątem 90° ze zwykłej stali o grubości 6 mm. Promień matrycy 4 mm. Dopuszczalne obciążenie zestawu narzędzi wg katalogu to 800 kN/m.

Dane:

$$G = 6 \text{ mm}$$

$$L_{\text{półki}} = 15 \text{ mm}$$

$$R = 4 \text{ mm}$$



Zaczynamy od wyznaczenia V na podstawie podanej wysokości półki.

$$V = 2 \times (L_{\text{półki}} - R) \quad (\text{przekształcony wzór 4})$$

$$V = 2 \times (15 - 4)$$

$$V = 22$$

Na podstawie tabeli 1 typowa wielkość V dla tej grubości materiału wynosi:

$$V_t = 8 \times G$$

$$V_t = 8 \times 6$$

$$V_t = 48$$

Ponieważ jest duża rozbieżność między wymaganą do wygięcia półki wartością V a typową dla tej grubości V_t prawdopodobnie nie jest możliwe wykonanie tej półki ze względu na przekroczenie dopuszczalnych obciążeń. Możemy to sprawdzić podstawiając nasze wartości do wzoru z przykładu 1. Długość linii gięcia zakładamy również $L_g = 500 \text{ mm}$.

$$P = \frac{1,42 \times 500 \times 420 \times 6^2}{1000 \times 22}$$

$$P = 487,96 \text{ kN}$$

Musimy przeliczyć nacisk na 1 metr.

$$P_{1000 \text{ mm}} = P \times \frac{1000}{500}$$

$$P_{1000 \text{ mm}} = 975,93 \text{ kN/m}$$

Widać, że dopuszczalny nacisk został przekroczony ($975,93 \text{ kN/m} > 800 \text{ kN/m}$) pomimo, że wzięliśmy solidny prosty stempel. Odpowiedź jest jednoznaczna. Nie da się wykonać takiej półki.

Parametry gięcia – podsumowanie

Zapoznaliśmy się z podstawowymi parametrami gięcia. W części *Załączniki* umieszczono przykładowe matryce i stemple wraz z dopuszczalnymi naciskami. Wykorzystano tutaj katalog firmy LVD. Dobór zestawu narzędzi odbywa się na podstawie kilku kryteriów. W tej części pokazano sposób wyboru głównie z uwagi na naciski dopuszczalne. Podstawowym parametrem jest tu wymiar otwarcia matrycy V . Narzuca on już pewne ograniczenia – minimalna półka, promień i minimalny kąt gięcia. Pierwszym jednak kryterium

doboru narzędzi jest sama geometria detalu. Od tego zazwyczaj zaczyna operator. Dopiero potem sprawdza wybrany zestaw pod względem wytrzymałości. Czasami, ze względu na strukturę materiału (patrz 1.3.1), konieczna jest zmiana V w celu uzyskania większego promienia gięcia aby zapobiec pękaniu.

6.5 Zasada działania krawędziarki sterowanej numerycznie

Do tej pory problematyka gięcia przedstawiana była w oderwaniu od samej maszyny. Do lepszego jednak zrozumienia i opanowania tego procesu potrzebna jest obrabiarka, która zrealizuje ten proces. Na rynku obecnych jest wiele firm oferujących takie maszyny. Można je kupić w różnych konfiguracjach zarówno pod względem wielkości, maksymalnego nacisku, możliwości (np. ilość obsługiwanych osi) jak i stopnia zautomatyzowania.



Rys. 6.14 Zautomatyzowane stanowisko do gięcia z podajnikiem rolkowy (z lewej)



Rys. 6.15 Zautomatyzowane stanowisko do gięcia (z prawej)



Rys. 6.16 Typowa prasa hydrauliczna (z lewej)



Rys. 6.17 Wielkogabarytowy tandem do gięcia dużych detali (z prawej)



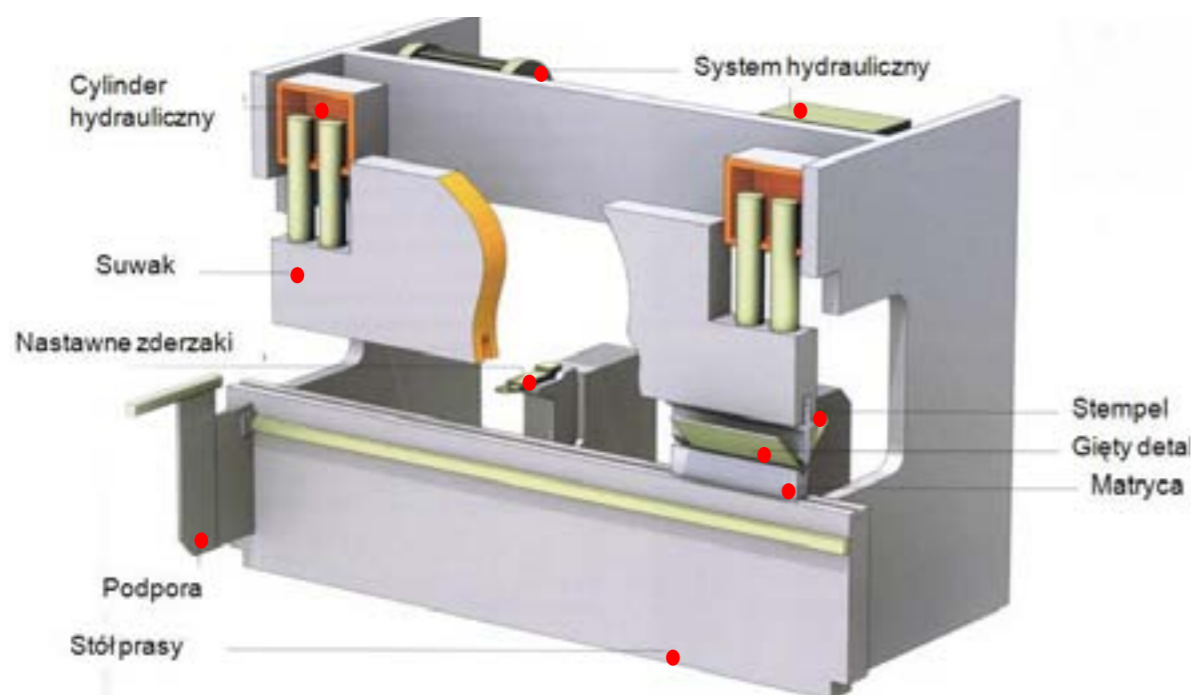
Rys. 6.18 Serwo-elektryczna prasa do gięcia (z lewej)



Rys. 6.19 Trójpunktowa prasa do gięcia (z prawej)

Rysunki 14–19 przedstawiają różny asortyment pras oferowany przez producentów. W zależności od potrzeb możemy dobrać optymalną konfigurację. Do produkcji dużych ilości powtarzalnych detali może opłacać się używanie bardziej zautomatyzowanych stanowisk (rysunki 14–15). Jeśli mamy dużo różnych detali w krótkich seriach powinniśmy wybrać najbardziej uniwersalną maszynę z prostym i szybkim systemem. Skraca to proces wdrażania nowych produktów (rysunek 16). Prasy wielkogabarytowe oczywiście kupuje tylko ten kto wytwarza duże części. Czasem jednak ich udział w globalnej produkcji jest mały. Warto wtedy zastanowić się nad tandemem czyli zespołem dwóch pras (rysunek 17). Mogą one pracować zarówno razem (wykonuje się wtedy te największe detale) lub osobno. Prasy serwo–elektryczne (rysunek 18) są szybkie i proste w konstrukcji. Nie wymagają skomplikowanych systemów hydraulicznych z obsługą których często są problemy (wycieki, nierówna praca cylindrów itd.). Rozwiązanie to jest bardzo korzystne dla małych pras o maksymalnej długości gięcia rzędu 1500 mm. Obecnie producenci oferują prasy tego typu o coraz większych gabarytach i naciskach. Rysunek 19 przedstawia krawędziarkę o systemie gięcia pokazanym na rysunku 2. Posiada ona dodatkowe urządzenie pozwalające na docisk detalu już przy pierwszym kontakcie stempla z materiałem.

6.6 Budowa krawędziarki sterowanej numerycznie.

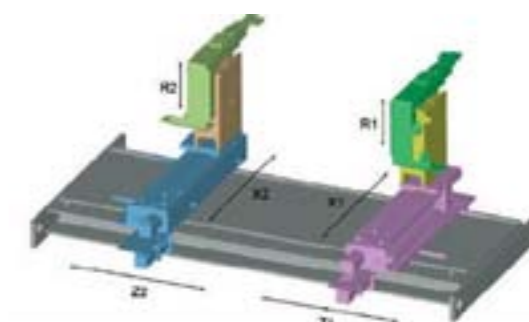


Rys. 6.20 Uproszczony schemat krawędziarki sterowanej numerycznie

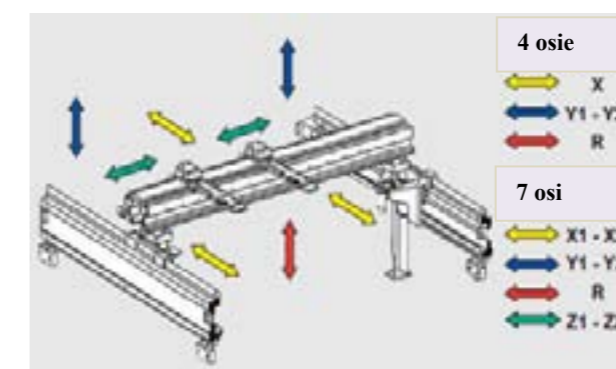
Na rysunku przedstawiono schemat krawędziarki składający się z podstawowych części. Sterownik kontroluje suwaka do którego przymocowany jest stempel. System przelicza wysokość na którą należy go opuścić, tak aby po powrocie suwaka w górne położenie, kąt gięcia osiągnął wartość zadaną. Zadaniem zderzaków jest umożliwienie ustawienia detalu tak aby stempel trafił dokładnie w linię gięcia co pozwala na otrzymanie półki o zadanej wysokości. Oprogramowanie przelicza współrzędne położenia zderzaków na podstawie geometrii detalu wprowadzonej do systemu przez operatora.



Rys. 6.21 Schemat osi w krawędziarce (z lewej)



Rys. 6.22 Osie zderzaków (z prawej)



Rys. 6.23 Systemy 4 i 7 osiowe (z lewej)



Rys. 6.24 Zderzaki i ich osie (z prawej)

Główne osie krawędziarki to XYZ. W zależności od rodzaju prasy mogą zostać one rozdzielone. W systemie 4 osiowym zderzaki ustawiają się wspólnie w X. W 7 osiowym mogą ustawiać się niezależnie. Każdy z nich ma własną oś odpowiednio X1 i X2 (rysunek 22). Przydzielenie osobnych osi Y1 i Y2 na prowadnicach suwaka pozwala na korektę przekoszenia czy nierównego kąta na przeciwległych końcach detalu. Osie Z1 i Z2 pozwalają wybrać miejsce styku zderzaka z detalem. Ich wartości są związane z długością gięcia oraz położeniem zestawu narzędzi (stempel+matryca) na których będzie gięta dana półka.

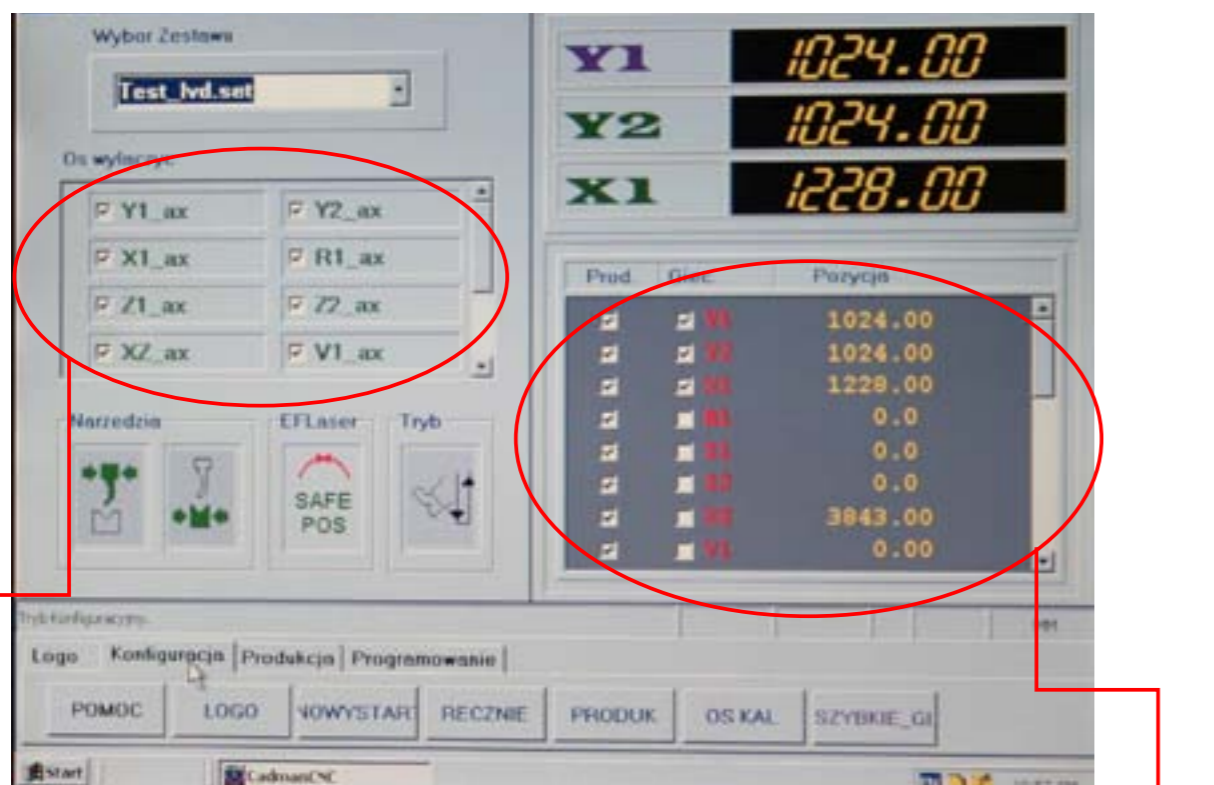


Rys. 6.25 Podpora ruchoma

Osie T1 i T2 są przeznaczone dla ruchomych podpór, których zadaniem jest podtrzymywać gięty detal w sposób zsynchronizowany z ruchem suwaka (w czasie gięcia końce detalu unoszą się do góry).

6.7 Sterowanie

Na rynku jest kilka systemów sterowania prasami krawędziowymi. Do niedawna najpopularniejszymi były DELEM i CYBELEC. Ostatnio jednak producenci pras wzięli się za tworzenie własnych, opartych na interfejsie sterownym ekranem dotykowym. Są one bardziej intuicyjne i prostsze w obsłudze. Tym niemniej na rynku jest jeszcze dużo pras ze starszymi wersjami. Wszystkie jednak programy obsługi wymagają wprowadzenia takich samych danych. Poznanie jednego bardzo ułatwia poruszanie się w innych.



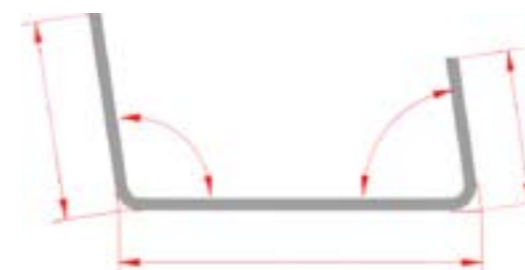
Lista obsługiwanych osi

Wartości na osiach

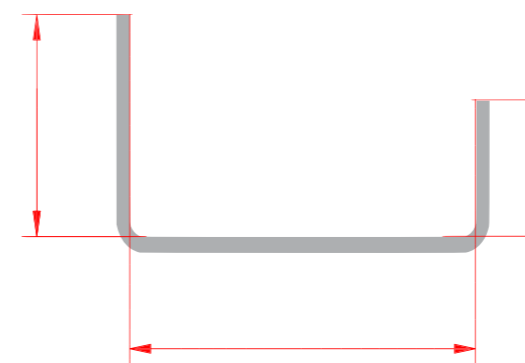
Rys. 6.26 przedstawia przykładowe okno konfiguracyjne systemu CYBELEC

6.8 Przygotowanie danych do programu

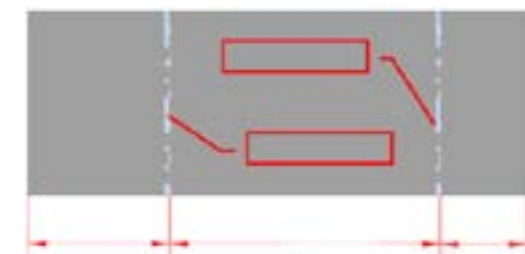
Do stworzenia programu sterującego wykonaniem detalu na krawędziarce potrzebne są dane związane z geometrią detalu. Operator na rysunku konstrukcyjnym musi odnaleźć wymiary niezbędne do jego wykonania. Należą do nich wysokości pótek i kąty gięcia. Jeśli konstruktor o tym wie i pamięta, wymiary wstawi tak by łatwo je było odnaleźć na przekrojach bez potrzeby dodatkowych obliczeń. Można je wtedy szybko i z niewielkim prawdopodobieństwem pomyłki wprowadzić do programu. Niestety, często zdarza się, że tak nie jest. Operator musi wtedy wykazać się dużą wiedzą i intuicją aby prawidłowo wygiąć detal. W razie wątpliwości niezbędna jest wtedy konsultacja z konstruktorem lub technologiem. Ponieważ dokładność gięcia zależy od bardzo wielu czynników (choćby ułożenia detalu w stosunku do włókien arkusza) operator musi mieć informacje gdzie może umieścić ewentualne korekty. Dobrym zwyczajem jest wpisywanie mniej istotnych wymiarów pótek w nawiasach.



Rys. 6.27 Wymiary zewnętrzne



Rys. 6.28 Wymiary wewnętrzne



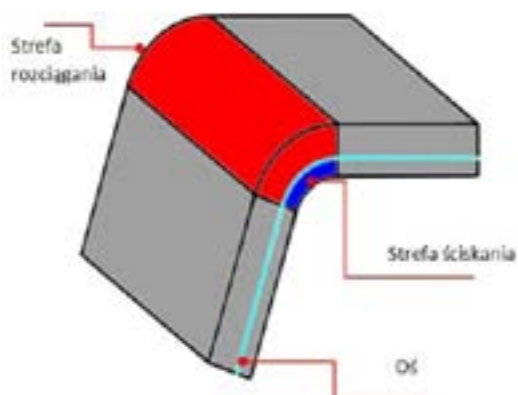
Rys. 6.29 Wymiarowanie linii gięcia

Na rysunku przedstawiono właściwy sposób wymiarowania przekroju. Mając takie dane operator bez problemu wprowadzi je do programu. Proszę zwrócić uwagę w jaki sposób zaczepione są linie wymiarowe. Wymiary wewnętrzne są również jak najbardziej prawidłowe. Nie powinno natomiast mieszać się wymiarów zewnętrznych lub wewnętrznych o ile nie ma to uzasadnienia konstrukcyjnego (np. jeśli w środek ceownika jest włożona jakaś część). Operator powinien bardzo uważać aby nie pomylić wymiarów zewnętrznych i wewnętrznych. Jest o to bardzo łatwo szczególnie przy dużych gabarytowo rysunkach gdzie z powodu skali grubość detalu jest mało widoczna. Wymiarowanie linii gięcia też umożliwia wprowadzenia danych do programu. Potrzebne kąty i kierunki gięcia można podać na odnośnikach. Należy pamiętać, że linie gięcia to są te miejsca na które najedzie stempel. W praktyce są to gotowe współrzędne zderzaków. Wadą jest tu natomiast utrudniona kontrola rozwinięcia przez system. Wprowadzając wymiary pótek operator ma możliwość wygenerowania rozwinięcia na maszynie. Uwzględnia ono często dane empiryczne a przede wszystkim jest dostosowane do zestawu narzędzi. Jest więc bardziej dokładne. Jeśli różni się od przygotówki (płaski kształt wycięty z blachy z którego po zagięciu pótek powstaje detal) operator różnicę tą traktuje jako korektę rozkładając ją w półki o mniej istotnych wymiarach.

Rozwinięcie detalu

Jednym z najważniejszych problemów jakie ma do rozwiązania operator jest przygotowanie rozwinięcia tak aby po zagięciu pótek otrzymać detal zgodny z rysunkiem konstrukcyjnym. Obecnie są one najczęściej generowane przez programy CAD. Należy jednak pamiętać, że nie uwzględniają one wymiarów i cech narzędzi (np. wytrzymałość). Ich konfiguracja sprowadza się do wprowadzenia współczynnika położenia osi obojętnej i ewentualnie kształtu podcięć technologicznych. W praktyce nie są one idealne. Jeśli jednak wymiary detalu po gięciu nie są zbyt rygorystyczne najczęściej nie ma problemu z wykonaniem. Gdy konstruktor wymaga dokładności rzędu 0.5 mm na wszystkie półki należy weryfikować rozwinięcie dokonując prób. Aby jednak umieć coś poprawiać należy zrozumieć metodę tworzenia rozwinięć. Zaczynamy od osi obojętnej.

Oś obojętna



Oś obojętna leży na granicy obszarów rozciąganych i ściskanych. Jest więc tą częścią przekroju, który ani się nie wydłuża ani skraca. Właśnie dlatego jest wykorzystywana przy robieniu rozwinięć. Wystarczy policzyć długość łuku po którym przebiega oś. Problemem jest tylko jego promień gdyż strefa obojętna przy gięciu swobodnym, praktycznie nigdy nie jest w połowie grubości. Trzeba go więc obliczyć. Położenie linii obojętnej podaje jako się wartość X

$$X = \frac{T}{G}$$

Wzór 5 Współczynnik położenia osi obojętnej

Najczęściej przyjmowany jest on jako zbliżony do 0,3. Niektóre źródła próbują powiązać go z promieniem, co ma teoretyczne uzasadnienie ale z powodu jego deformacji różnie to wychodzi.

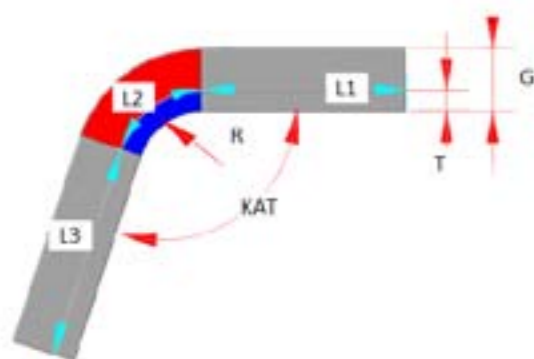
Tabela 3 Wartości

R/G	0,50	0,80	1,00	2,00	3,00	5,00
X	0,25	0,30	0,35	0,37	0,40	0,48

Współczynnika położenia osi obojętnej dla stali miękkiej i kąta 90°.

Jeśli uda się nam policzyć długość łuku L2 to rozwinięcie będzie sumą trzech wartości L1, L2 i L3.

Rys. 6.30 Oś obojętna



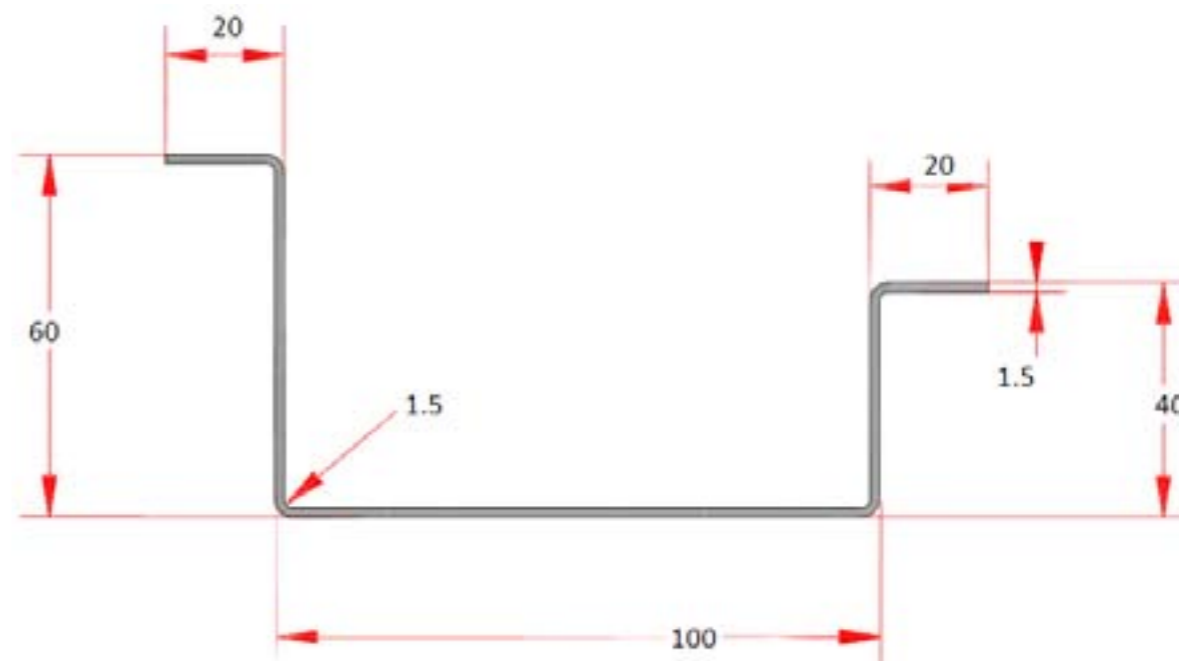
Rys. 6.31 Długość rozwinięcia na przekroju



Rys. 6.32 Rozwinięcie

Metody obliczeń rozwinięć

Jest kilka sposobów obliczeń rozwinięć. Prześledźmy je na prostym przykładzie.



Rys. 6.33 Przykład rozwinięcia

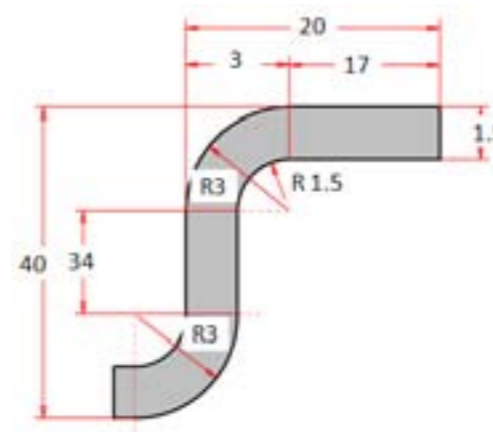
Według długości osi obojętnej

Liczymy najpierw sumę odcinków prostych (takich jak np. L1 z rys. 6.31).

$$(20-3)+(60-6)+(100-6)+(40-6)+(20-3) = 216$$

Liczby 20, które są wymiarami skrajnymi pomniejszono o zewnętrzny promień (R + G, gdzie R= 1.5 i G=1.5). Od wymiarów wewnętrznych odjęto dwa promienie. Mechanizm tego pokazano to na rysunku 34. Teraz musimy dodać długości łuków. Zaczynamy od obliczenia promienia. Zgodnie z tabelką 3 przyjmujemy wartość

$$X = 0,35 \text{ (bo } R/G = 1)$$



Rys. 6.34 Szkic do obliczeń rozwinięcia.

$$T = X \times G \quad \text{(przekształcony wzór 5)}$$

$$T = 0,35 \times 1,5$$

$$T = 0,53$$

Promień naszego łuku wynosi więc:

$$R_t = R + T$$

Wzór 6. Promień osi obojętnej

$$R_t = 1,5 + 0,53$$

$$R_t = 2,03$$

Liczmy długość łuku:

$$L_t = \frac{A}{90} \times \frac{\pi}{2} \times R_t$$

Wzór 7. Długość łuku dla osi obojętnej

Gdzie:

A – kąt gięcia (u nas 90)

R_t – promień łuku osi obojętnej

$$L_t = \frac{90}{90} \times \frac{\pi}{2} \times 2,03$$

$$L_t = \frac{90}{90} \times \frac{\pi}{2} \times 2,03$$

$$L_t = 3,19$$

Mamy 4 takie same łuki. Nasze rozwinięcie wynosi:

$$L = 216 + 43,19$$

$$L = 228,75$$

To już koniec obliczeń. Otrzymaną wartość będziemy porównywali z wyliczoną innymi metodami.

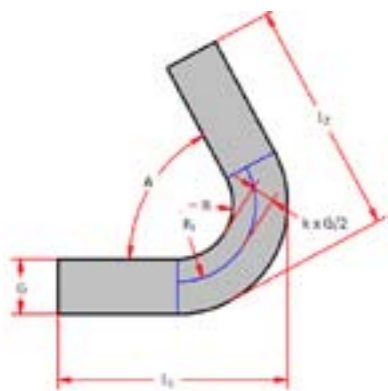
DIN 6935

Jest to dość skomplikowany sposób obliczeń ale o dużej uniwersalności. Wiele systemów CAD i CAM stosuje tą metodę. Nie ma również problemu, żeby te dość rozbudowane wzory wpisać do arkusza kalkulacyjnego.

$$k = 0,65 + \frac{1}{2} \times \log\left(\frac{R}{G}\right) \quad \text{Wzór 8. DIN 6935 Współczynnik przesunięcia osi}$$

Współczynnik k pełni analogiczną rolę jak X (wzór 5). Można przyjąć, że $X = k/2$ gdyż:

$$T = \frac{G}{2} \times k \quad \text{Wzór 9. DIN 6935 Wartość przesunięcia osi obojętnej}$$



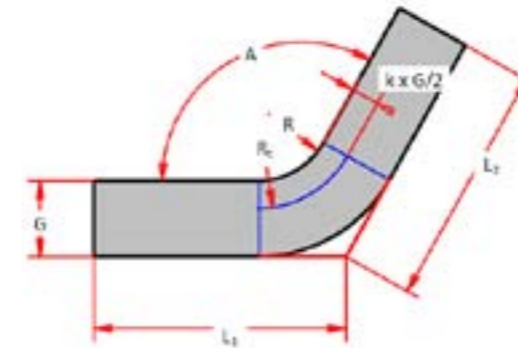
Metoda ta uwzględnia dwa zakresy kątów gięcia. Na rysunku 35 pokazano szkic do zakresu

$A \leq 90^\circ$. Podane w ten sposób wymiary L1 i L2 łatwo zmierzyć summiarką. Kontrola poprawności jest przecież bardzo ważna. W tej metodzie nie liczymy długości łuku tylko wartość (tzw. skrócenie) o jaką trzeba zmniejszyć sumę L1 i L2 aby otrzymać prawidłowe rozwinięcie.

$$pv = \pi \times \frac{180-A}{180} \times \left(R + k \times \frac{G}{2}\right) - 2 \times (R + G)$$

Wzór 10. DIN 6935 Obliczenie skrócenia dla kątów ostrych

Rys. 6.35 DIN 6935 Kąty $A \leq 90$



Rys. 6.36 DIN 6935 Kąty $90 < A < 180$

Wymiarów L1 i L2 dla kątów rozwartych nie dałoby się tak zmierzyć jak w poprzednim zakresie. Ich linie odniesienia nie są styczne z jednej strony do promienia. Wzór na skrócenie musi więc być inny.

$$pv = \pi \times \frac{180-A}{180} \times \left(R + k \times \frac{G}{2}\right) - 2 \times (R + G) \times \tan\left(\frac{180-A}{2}\right)$$

Wzór 11. DIN 6935 Obliczenie skrócenia dla kątów rozwartych

Mamy już wszystkie wzory. Możemy przystąpić do obliczeń:

$$k = 0,65 + \frac{1}{2} \times \log\left(\frac{1,5}{1,5}\right)$$

$$k = 0,65$$

$$pv = \pi \times \frac{180-90}{180} \times \left(1,5 + 0,65 \times \frac{1,5}{2}\right) - 2 \times (1,5 + 1,5)$$

$$pv = -2,87$$

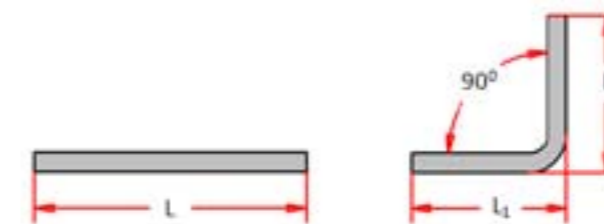
Liczmy rozwinięcie, które sumą wymiarów zewnętrznych i skróceń (na każde gięcie)

$$L = 20 + 60 + 100 + 40 + 20 + 4 \times (-2,87)$$

$$L = 228,52$$

BA90

Metoda ta oparta jest na empirycznych wynikach gięcia pod kątem 90° . Jej celem jest znalezienia skrócenia (BA90) dla konkretnego gatunku blachy i zestawu narzędzi.



Rys. 6.37 Metoda BA90

Operator gnie próbkę o długości L (jej wartość nie ma znaczenia, powinna być tylko łatwa do gięcia). Następnie wygina ją pod kątem 90° na zestawie narzędzi dla którego próba jest przeprowadzana. Następnie mierzy wysokości otrzymanych pótek L1 i L2. Dalsze obliczenia są proste:

$$L = L_1 + L_2 - \text{BA90}$$

$$\text{BA90} = L_1 + L_2 - L \quad \text{Wzór 12. BA90 Wzór na skrócenia}$$

Wyniki zapisujemy do bazy.

Tabela 4 BA 90 Przykładowe dane empiryczne.

Matryca szerokość	Matryca kąt	Matryca promień	Stempel promień	Materiał	Kąt gięcia	Grubość materiału	Promień gięcia	BA 90
12	30	1.2	1	Algm3	90	1.5	1.93	2.94
12	30	1.2	1	RST37_2	90	1.5	1.73	2.86
12	30	1.2	1	Stl2_03	90	1.5	2.22	3.03
12	30	1.2	1	Stl2_03_Z	90	1.5	2.22	3.03
12	30	1.2	1	INOX304	90	1.5	2.64	3.22

Możemy przeliczyć nasz przykład. Wybieramy wartość BA90 dla zwykłej stali (Stl2_03).

$$L = 20 + 60 + 100 + 40 + 20 - 4 \times (3.03)$$

$$L = 227.88$$

Wynik nieznacznie różni się od pozostałych. Przy tym zestawie narzędzi promień gięcia jest trochę inny (w BA90 $R = 2.22$) niż zakładano w poprzednich ($R = 1.5$). Pozostałe metody nie uwzględniały jednak właściwości zestawu. Są jednak zupełnie przyzwoitym przybliżeniem gdyż ok. 1 mm korekty nie trudno ulokować w 4 gięciach. W razie braku danych empirycznych możemy więc śmiało je stosować.

Podcięcia technologiczne

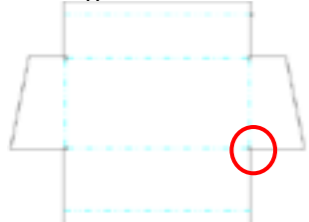
Do tej pory rozpatrywaliśmy tylko pojedynczy przekrój. Detale jednak mają najczęściej kilka przekroi wg których są gięte.

Nasz detal może wyglądać np. tak jak na rys. 6.38. Posiada dwa przekroje gięcia.



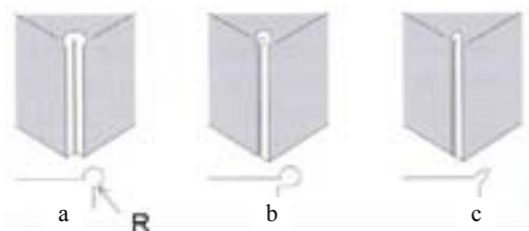
Rys. 6.38 Widok detalu

Na rys. 6.39 pokazano rozwinięcie detalu. Oprócz konturu zaznaczono linie gięcia. Jak widać niektóre z nich przecinają się. W tych miejscach następuje spiętrzenia materiału. Aby tego uniknąć stosuje się podcięcia technologiczne. Ich kształt zależy np. od tego jak ścianki stykają się ze sobą.



Rys. 6.39 Szkic rozwinięcia

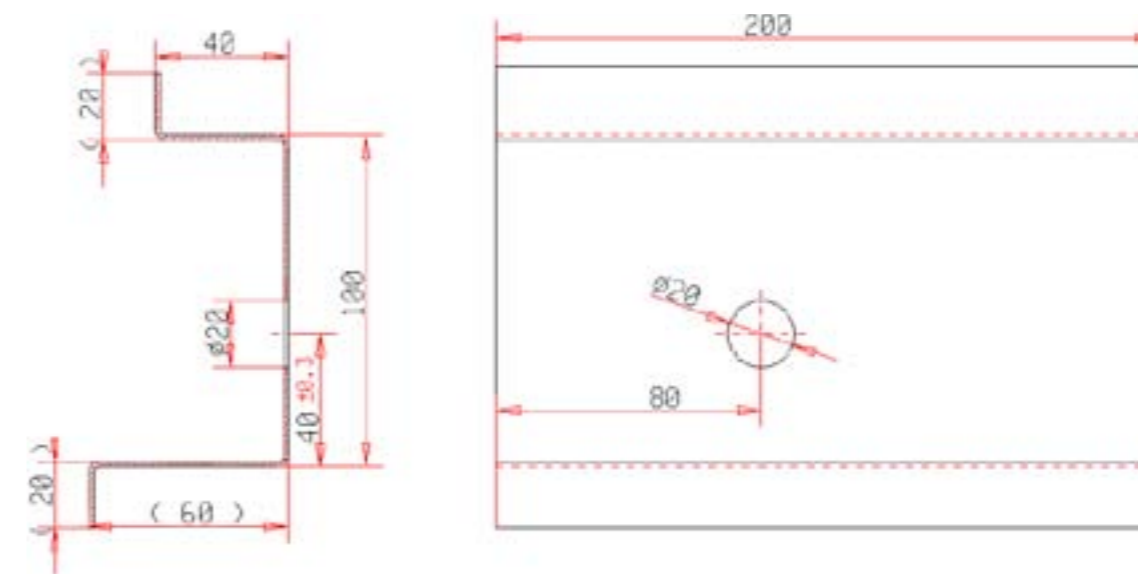
Najczęściej stosowane jest podcięcie „a” (rys. 6.40). Półki stykają się krawędziami wewnętrznymi, co ułatwia ich połączenie spoiną zewnętrzną. Typ „b” stosuje się wtedy kiedy jedna półka ma zachodzić na drugą. Trzeci rodzaj podcięcia jest podobny do „a” ale ma inny kształt wybrania. Szczelina jest mniejsza. Do stosowania przy cieńszych blachach.



Rys. 6.40 Rodzaje podcięć

Metodyka tworzenia rozwinięć

Rozwinięcia można tworzyć w różny sposób. Przy bardziej skomplikowanych kształtach najlepiej bazować się na liniach gięcia. Ponieważ operatorzy pracują głównie na pojedynczych przekrojach skupimy się na naszym przykładzie z rys. 6.41 wzbogacając go tylko o jeden otwór. Będzie on potrzebny do pokazania w jaki sposób wprowadzać korekty aby zachować ważny wymiar.



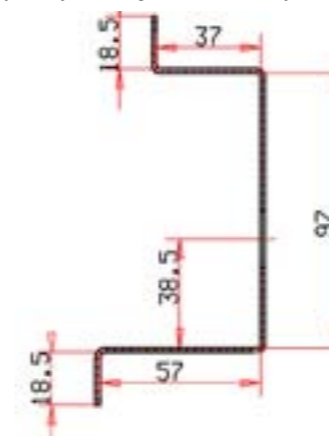
Rys. 6.41 Rysunek detalu do ćwiczeń

Rysujemy szkic rozwinięcia nie zwracając uwagi na wymiary. Jest to prosty rysunek ale w przypadku bardziej skomplikowanego pomaga to uniknąć pomyłek.



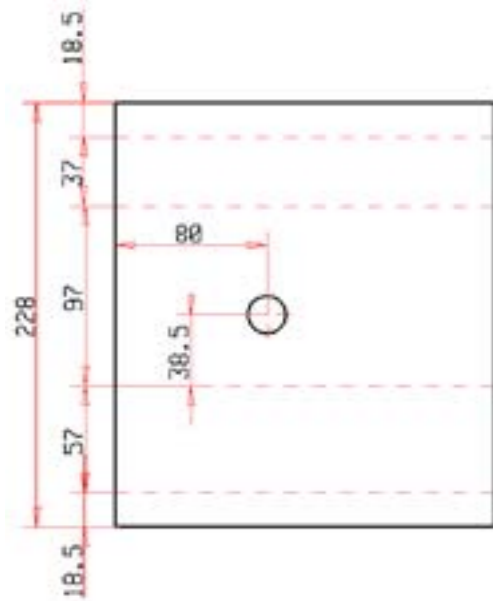
Rys. 6.42 Szkic rozwinięcia

Ustalamy położenie linii gięcia korzystając z danych z metody BA90 (Tabela 4). Empiryczne skrócenie dla tego detalu wynosi 3,03. Dla ułatwienia obliczeń przyjmujemy 3. Można przyjąć, że położenie linii gięcia to wymiary wewnętrzne detalu z jedną tylko poprawką. Grubością będzie połowa skrócenia czyli $3/2 = 1.5$. W tym przypadku pokrywa się ona z rzeczywistą ale nie jest to regułą. Widać to w Tabeli 4.



Rys. 6.43 Wymiary wewnętrzne określające położenie linii gięcia

Teraz pozostaje nam już tylko skorygować wymiary szkicu.

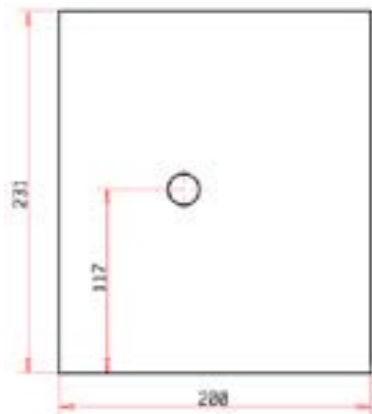


Rys. 6.44 Zwymiarowane rozwinięcie

Korekta rozwinięcia

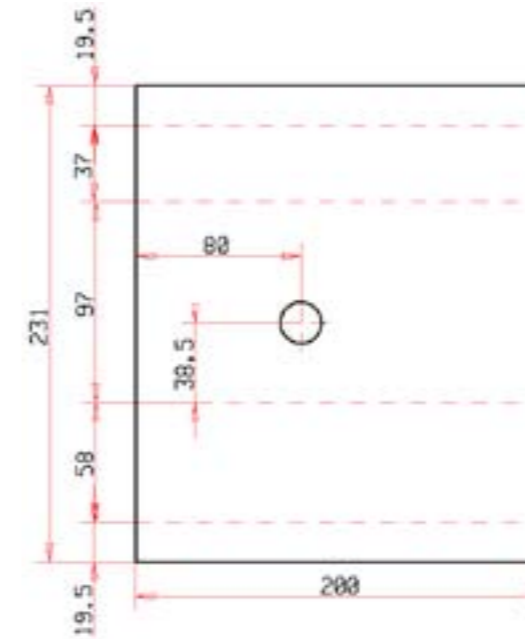
Często zdarza się, że operator dostaje wyciętą przygotówkę o złym rozwinięciu. Może wtedy próbować błędy rozmieścić w mniej ważnych wymiarach. W naszym przypadku należy zachować wymiar 40. Wymiary 20 i 40 są mniej ważne.

Założmy, że operator dostał taką przygotówkę. Ma z niej zrobić detal nadający się do montażu. Wiadomo, że nie będzie on całkowicie zgodny z wymiarami konstrukcyjnymi. Aby jednak można go było wykorzystać należy skorygować linie gięcia tak aby najważniejsze wymiary zostały zachowane. Rozwinięcie jest dłuższe o 3 mm. Dodatkowo położenie otworu od brzegu jest większe o milimetr (powinno być $18.5 + 57 + 38.5 = 116$).



Rys. 6.45 Błędne rozwinięcie

Błędy zostały równo rozłożone pomiędzy półkami 20 → 21 i 60 → 61. Zachowano wymiary 40 i 100.



Rys. 6.46 Korekta błędnego rozwinięcia

6.9 Zadania operatora

Do zadań operatora należy:

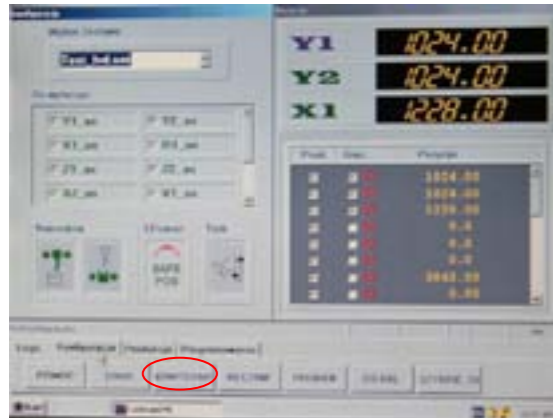
- przygotowanie maszyny do pracy,
- wczytanie lub wygenerowanie programu gięcia,
- dobór narzędzi, długości i ilości zestawów,
- ustawienie i stosowanie zabezpieczeń dostępnych na maszynie,
- wykonanie pierwszego detalu,
- kontrola wymiarów i wprowadzanie korekt,
- bezpieczna praca,
- utrzymanie porządku na stanowisku.

Niektóre z tych punktów wydają się oczywiste ale nie należy lekceważyć żadnego nawet tego związanego z porządkiem. Organizacja stanowiska jest ważnym elementem pracy. Jeśli jest dobra, ryzyko wypadku i pomyłek zdecydowanie się zmniejsza.

6.10 Przygotowanie maszyny do pracy

Aby maszyna mogła funkcjonować, oprócz jej włączenia konieczne jest ustawienie osi. Oczywiście odbywa się to automatycznie po włączeniu odpowiedniego programu. W zależności od typu maszyny może to być np. bazowanie, restart osi czy nowy start. Nazwa nie jest istotna. Ważne jest to żeby maszyna poznała dokładnie położenie wszystkich swoich ruchomych elementów takich jak np. suwak czy zderzaki.

Przykładowy ekran startowy z zaznaczonym przyciskiem ustawiającym osie.



Rys. 6.47 Ustawianie osi

6.11 Wczytanie lub wygenerowanie programu wykonującego gięcie

Jeśli program został już wcześniej stworzony wystarczy wczytać go z dysku i sprawdzić dla jakich narzędzi został wygenerowany. Trzeba pamiętać aby założyć taki same zestawy. W przeciwnym razie może dojść do kolizji.

Na rysunku pokazano przykładowy formularz z informacjami jakie narzędzia należy założyć i w którym miejscu je zamocować. Jest to ważne gdyż tam będą podjeżdżać zderzaki.



Rys. 6.48 Przykład formularza z ustawieniem narzędzi

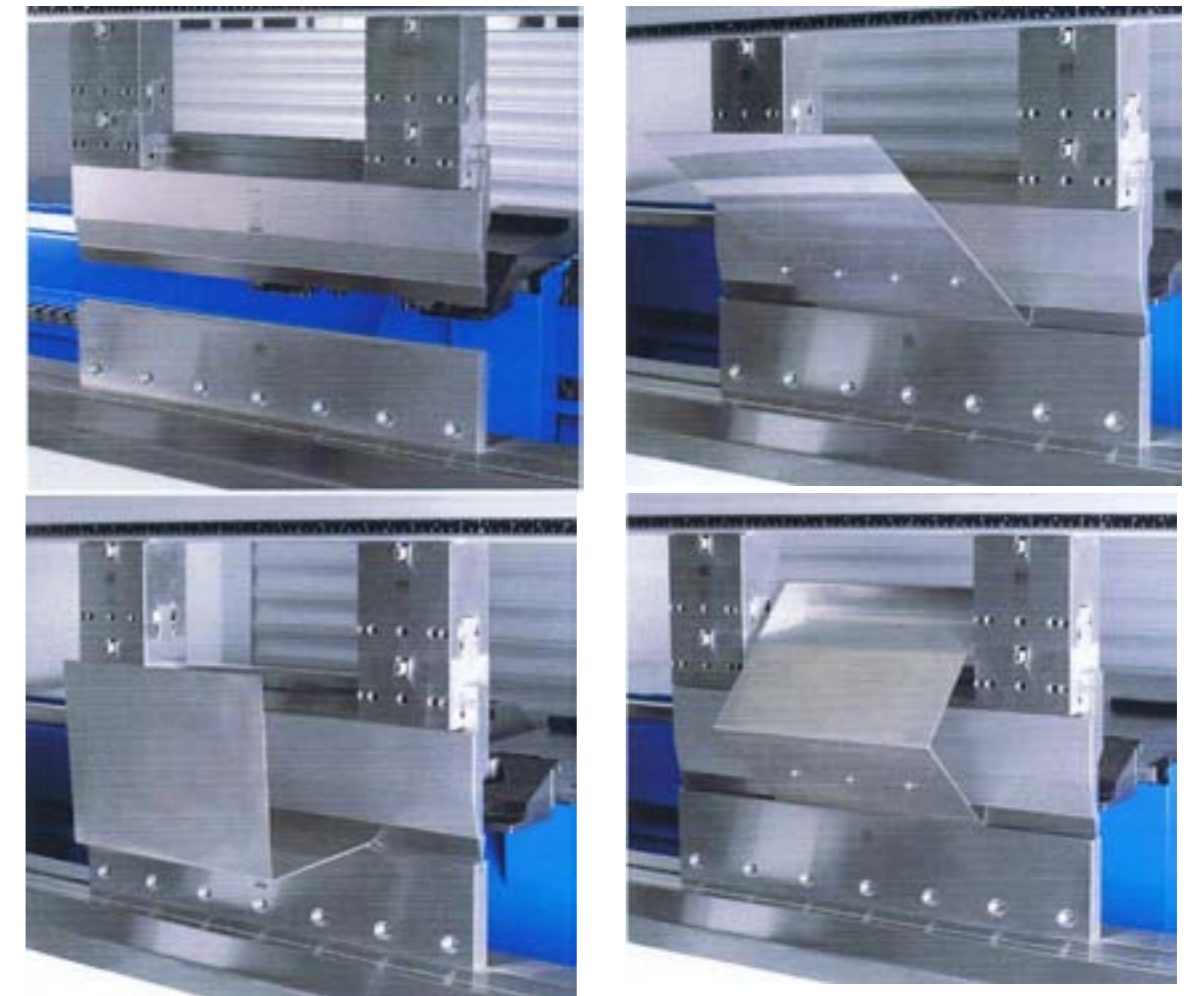
Przykładowy program stworzony na krawędziarce CNC. Nowsze systemy mają bardziej rozbudowaną grafikę. Coraz częściej spotyka się już ekrany dotykowe. Zasady są jednak takie same. Wybrać materiał i narzędzia, wprowadzić geometrię, ustalić kolejność gięć. Szczegółowe szkolenia, z uwagi na różnorodność systemów, będą przeprowadzane w czasie praktyk. W podręczniku tym przedstawiamy jedynie materiał z którego każdy operator będzie korzystał, nie zależnie od tego, na jakiej maszynie będzie pracował.



Rys. 6.49 Widok programu stworzonego na maszynie

6.12 Dobór narzędzi

Zasady doboru narzędzi wg kryterium wytrzymałości pokazano we wcześniejszych rozdziałach. Drugim, również ważnym, jest geometria wykonywanego detalu. Wymaga ona czasem skomplikowanych narzędzi.



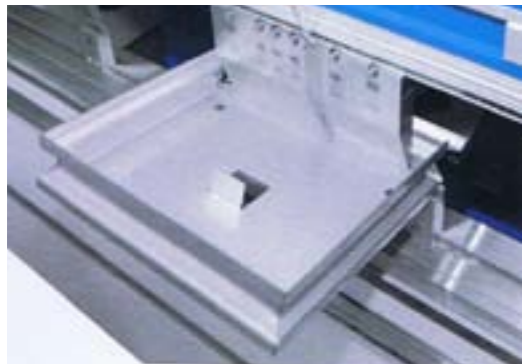
Rys. 6.50 Dobór narzędzi

W tym przypadku problemem jest półka, która po zagięciu uderzyłaby w suwak gdyby nie specjalne mocowanie stempla. Najlepiej widać to na ostatnim zdjęciu.

Ten detal również można wykonać stosując uchwyt z dużym odsadzeniem.

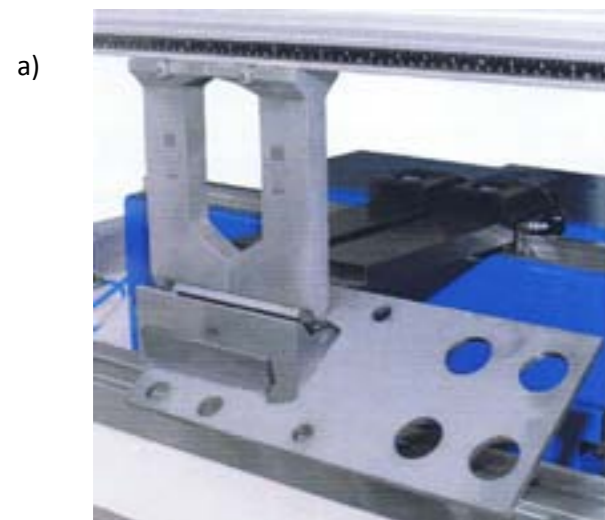


Rys. 6.51 Dobór narzędzi – specjalny uchwyt stempla

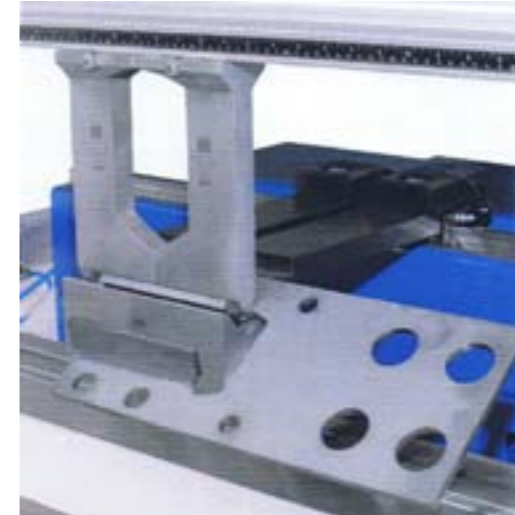


Rys. 6.52 Dobór narzędzi – rogi

Zagięte półki uniemożliwiają zamknięcia detalu (czyli wygięcie ostatniej półki) Dzięki zastosowaniu stempla z końcami w kształcie rogów jest to możliwe. Zdjęcie detalu z maszyny odbywa się przez skręcenie w celu wysunięcia końców stempla spod półek.



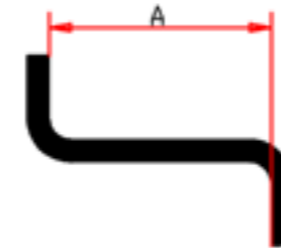
b)



Rys. 6. 53 (a, b) Dobór narzędzi – matryca

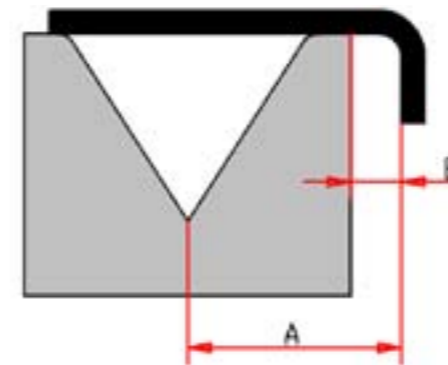
Na rysunkach widać jak ważna jest właściwa szerokość matrycy. Tutaj również zastosowano stemple z rogami. Ten detal wymaga już kilku zestawów. Narzędzia są również solidniejsze bo detal ma większą grubość. Przedstawione rysunku to przykłady zaawansowanej technologii gięcia. Zwykle operator spotyka się z prostszymi przypadkami.

Na rysunku obok przedstawiono detal, którego kształt jest popularnie nazywany Z. Jego cecha charakterystyczną jest to, że jego półki są wygięte w przeciwne strony. Powoduje to pewne ograniczenia w szerokości matrycy.



Rys. 6.54 Detal typu Z

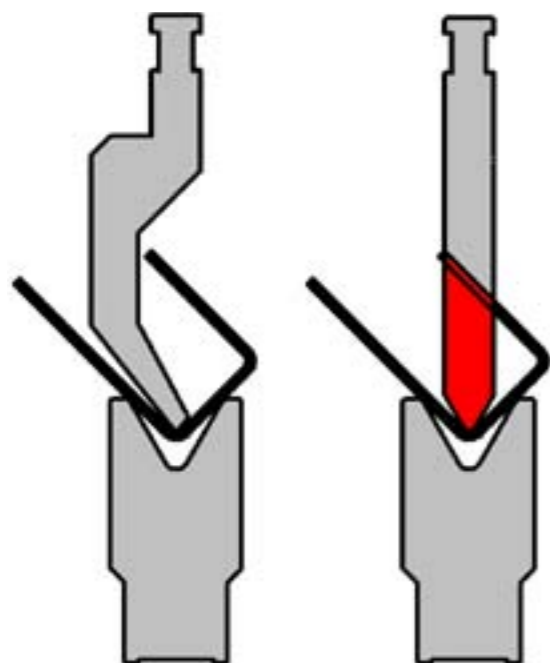
Na rysunku (wpływ kształtu matrycy na możliwość wykonania detalu typu Z) przedstawiono zależność geometrii matrycy i wymiarów detalu typu Z. Minimalna wartość B czasem podawana jest jako parametr matrycy.



Rys. 6.55 Wpływ kształtu matrycy na możliwość wykonania detalu typu Z

Aby wygiąć taki detal należy użyć specjalnego stempla, który pozwoli uniknąć kolizji. Widać wyraźnie, że nie może to być prosty stempel (na czerwono zaznaczono obszar kolizji). Jego kształt musi być taki aby

wygięta półka nie uderzyła w niego. Taki stempel określa się jako wygięty lub z odsadzeniem.

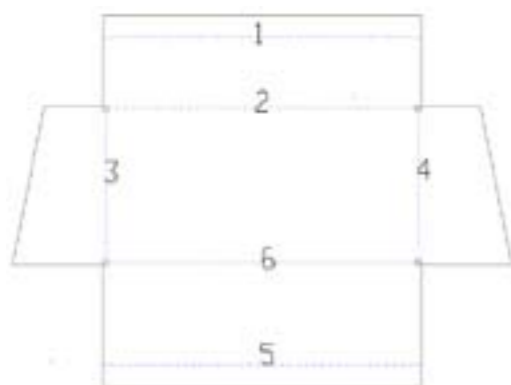


Rys. 6.56 Kolizja stempla

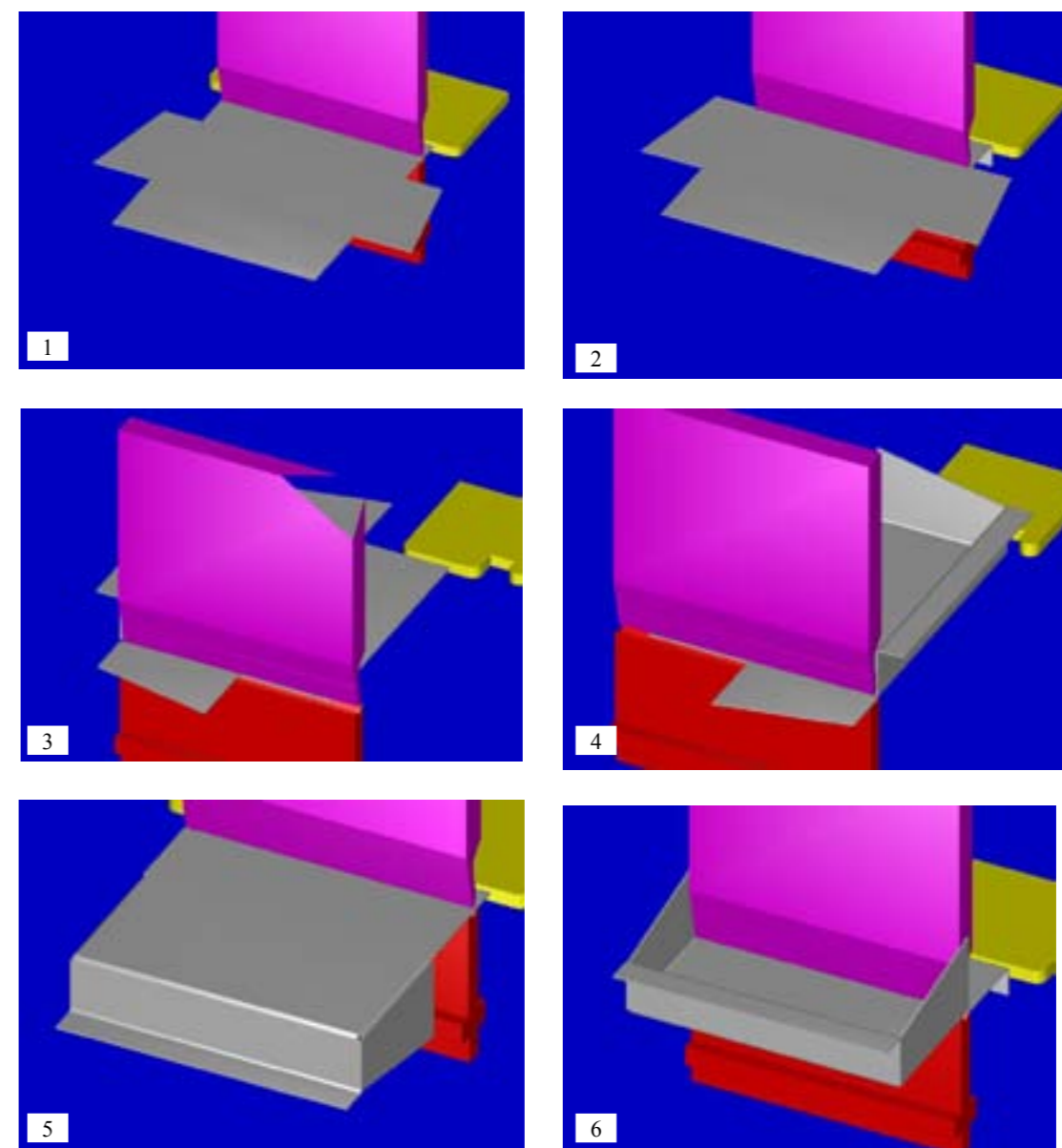
6.12 Kolejność gięć

Program na maszynie ustala kolejność gięć najczęściej tak aby na początku giąć zewnętrzne półki. Operator może to zmienić. Ważne jest aby jak najmniej trzeba było kręcić detalem i przekładać go na drugą stronę. Nie wszystkie programy CAM robią to optymalnie. Przy dużych gabarytach jest to bardzo uciążliwe. Detale z półkami na wszystkich krawędziach gnie się tak aby ostatnia zamykającą pudełko była ta najdłuższa. Czasem jednak geometria na to nie pozwala. Stosuje się wtedy kilka zestawów narzędzi o różnych długościach.

Operator po wprowadzeniu wymiarów detalu ustala kolejność gięć. Przykład tego pokazany jest na rysunku obok.



Rys. 6.57 Ustalona kolejność gięć



Rys. 6.58 Symulacja kolejności gięć

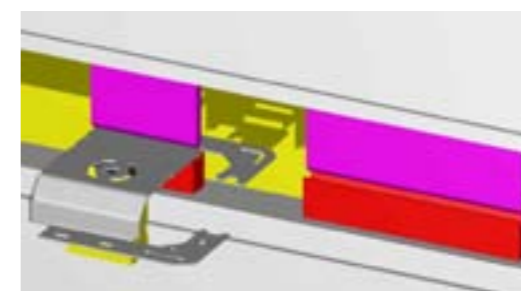
Na rysunku 6.58 przedstawiono symulację kolejności gięcia. Widać wyraźnie dlaczego jako ostatnia jest gięta najdłuższa półka. Stempel ma wymiar taki aby można było „zamknąć pudełko” czyli równy najdłuższej linii gięcia. Krótszym nie wszystkie półki dałoby się wygiąć.

Ustalenie zestawów narzędzi

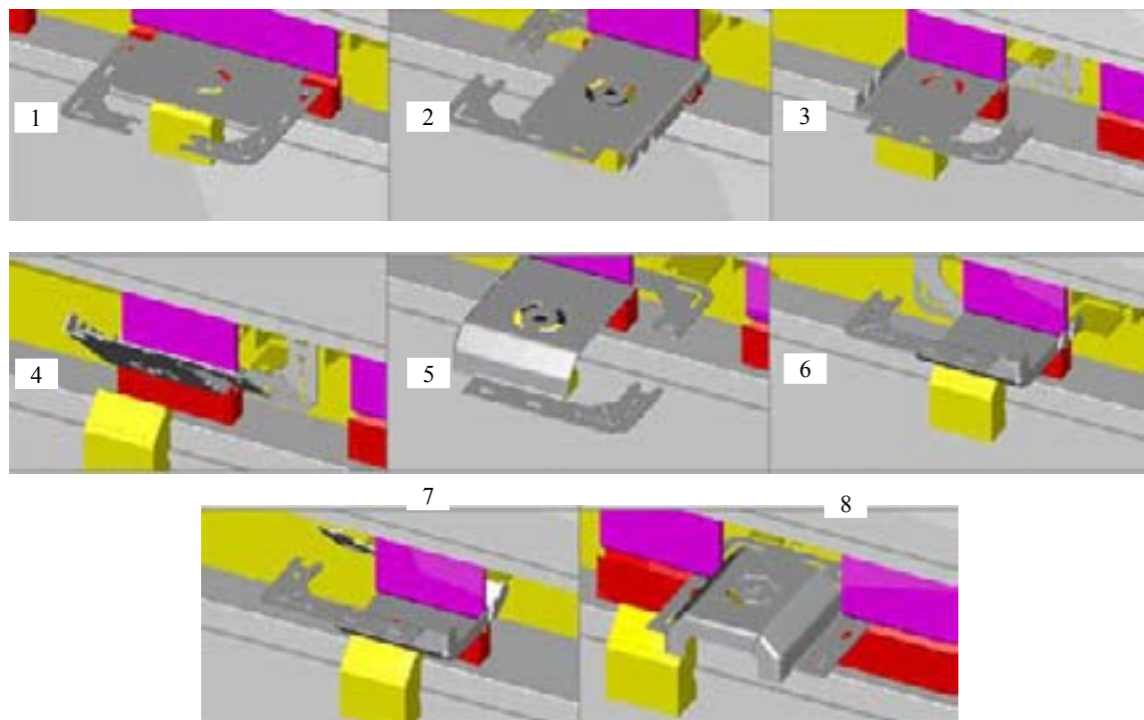
Przy bardziej skomplikowanych detalach najczęściej jeden zestaw nie wystarcza. Optymalnie ustalona kolejność gięć minimalizuje ilość takich zestawów (ang. stage).

Gięcia 1 i 2 nie można wykonać stemplem takiej samej długości. Dłuższy stempel niż pokazany na gięciu 2 wygiąłby za dużo. Gięcie 8 to przykład optymalizacji. Za jednym zejściem suwaka gnie się dwie półki.

a)



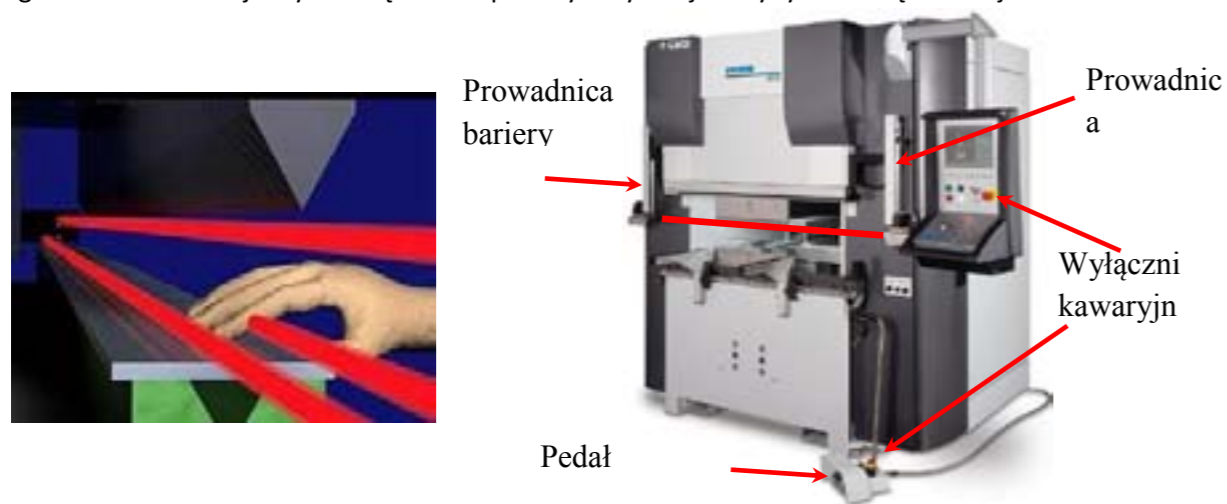
b)



Rys. 6.59 (a, b) Przykład technologii gięcia wykorzystującej dwa zestawy

Wybrane zagadnienia bezpiecznej pracy na krawędziarce NC

Krawędziarki to otwarte maszyny. Nie można założyć stałych osłon, takich jakie są w centrach obróbki skrawaniem. Nie pozwalają na to gabaryty detalu a także konieczność dociskania detalu do baz w pierwszej fazie gięcia. Sterowanie najczęściej możliwe jest tylko przy pomocy pedału naciskanego nogą. Zdarza się często, że detal, z uwagi na jego gabaryty, trzyma więcej niż jedna osoba. Potrzeba ogromnego zgrania i koncentracji aby uniknąć niebezpiecznych sytuacji. Jedynym rozwiązaniem jest bariera laserowa.



Rys. 6.60 Zasada działania laserowej bariery bezpieczeństwa

Działa ona na prostej zasadzie. Z jednej strony wysyłana jest wiązka laserowa. Z drugiej strony jest czujnik, który rozpoznaje czy został oświetlony tym promieniem. Jeśli tylko jedna z nitek zostaje przerwana – włączają się zabezpieczenia i suwak zatrzymuje się. Uruchamia go dopiero ponowne naciśnięcie pedału lub przycisku sterującego. Suwak porusza się jednak wtedy z bardzo małą prędkością. To jest właśnie kolejne zabezpieczenie. Podobnie zachowuje się jeśli bariera z jakiś przyczyn nie jest aktywna. Powolny ruch suwaka pozwala operatorowi spokojnie kontrolować proces gięcia. Należy jednak pamiętać, że nawet wtedy chwila

rozproszenie np. jakimś hałasem czy rozmową, może doprowadzić do powstania zagrożenia. Położenie wiązki bariery steruje się przesuwając elementy wysyłające i odbierające wzdłuż prowadnic bariery. Jest ono zależne od wymiarów narzędzi. Schodzący stempel powinien przerwać wiązkę około 2,5 cm (potocznie grubość kciuka) przed zetknięciem się z materiałem.

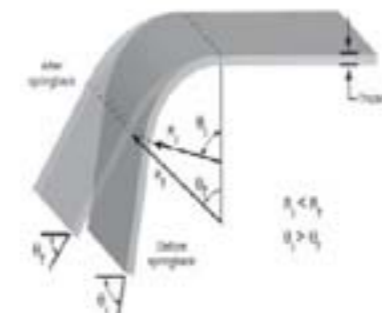
Rozdział ten nie porusza wszystkich zagadnień BHP związanych z pracą operatora krawędziarki sterowanej numerycznie. Pełne szkolenie przeprowadzane jest na stanowisku przez uprawnione do tego osoby.

Kontrola wymiarów i wprowadzenie korekt

Suwmiarka i kątomierz to niezbędne narzędzia do pracy operatora. Proces gięcia zależy od wielu czynników. Ważne są właściwości materiału, stan narzędzi i maszyny. Nawet jeśli jest wykonywane na dokładnie takich samych narzędziach może wymagać korekt. Nie jest więc realnym uzyskanie 100% powtarzalności wymiarów. Trzeba je kontrolować na bieżąco i wprowadzać poprawki. Pomiary dłuższych detali należy robić na różnych przekrojach. Najczęściej na początku i końcu detalu. Jeśli powstają różnice są one najczęściej wynikiem niejednorodności materiału, zużyciem narzędzi lub maszyny. W nowszych i lepiej wyposażonych krawędziarkach istnieje możliwość pomiaru i wprowadzania poprawek automatycznie.

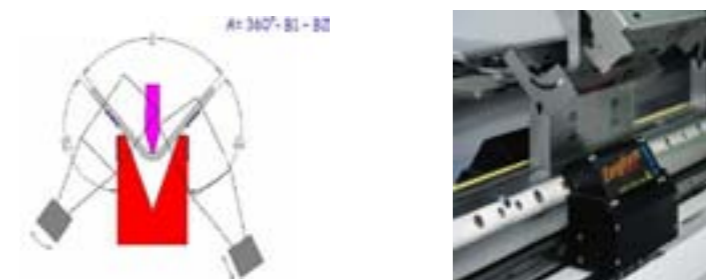
Automatyczna korekta kąta gięcia

Problemem w uzyskiwaniu dokładnego kąta jest sprężynowanie detalu. Można to korygować ręcznie celowo nie doginając detalu. Po zmierzeniu kąta wprowadza się poprawkę opuszczając stempel niżej niż wyliczył to komputer.



Rys. 6.61 Kąt sprężynowania

Są również sposoby aby robić to automatycznie jak np. Easy Form firmy LVD. Działa on w podobny sposób. Najpierw gnie na kąt trochę większy od zadanego. Następnie cofa stempel co powoduje że materiał sprężynuje. System mierzy wtedy uzyskany kąt i automatycznie wprowadza poprawkę.



Rys. 6.62 System korekty kąta EasyForm firmy LVD

Nie jest to jedyny system. Niektóre firmy umieszczają czujniki pomiaru kąta np. w stemplach. Zasada jest jednak podobna. Sprawdzić jak sprężynuje materiał i wprowadzić poprawkę. Pomiary takie można dokonywać w różnych przekrojach, co jest wykorzystywane do ustawienia jednakowych wymiarów na całej długości giętego detalu.

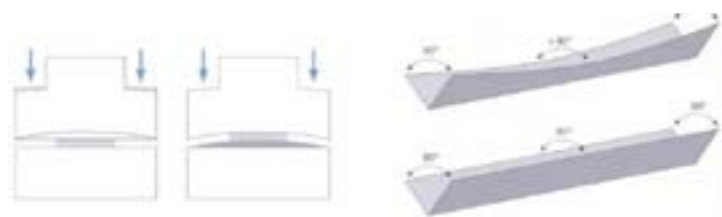


Rys. 6.63 Czujnik pomiaru kąta umieszczony w stemplu

Ustawienie jednakowego kąta na całej długości linii gięcia

Przy większych detalach pojawia się problem uzyskania takich samych kątów na całej długości linii gięcia. Pomocą jest tutaj system kompensacji strzałki ugięcia.

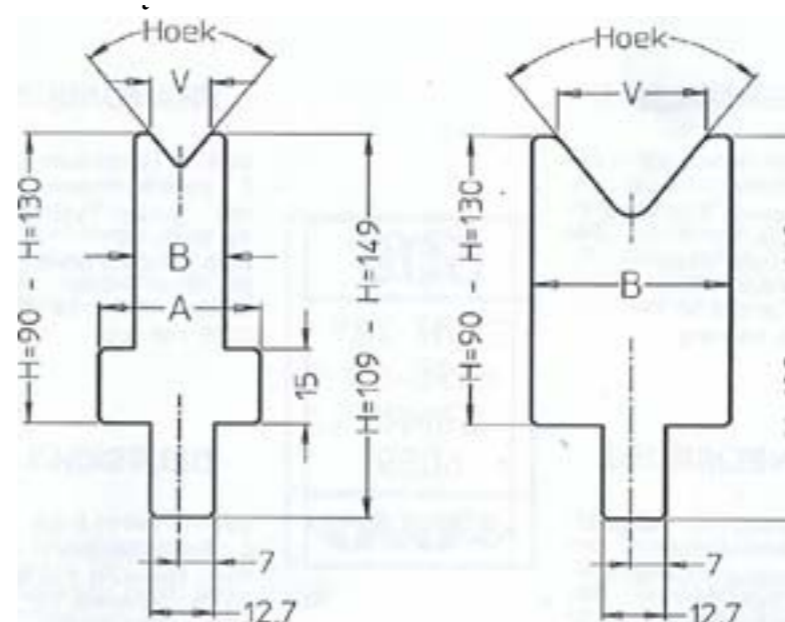
Ponieważ suwak podparty jest na końcach jego środek pod wpływem siły gięcia ugina się. Oczywiście ugięcie to jest minimalne ale już nawet takie wystarczy aby kat w środku był niedogięty. Receptą na to jest wygięcie stołu w celu zrównoważenia odkształcenie suwaka. Odpowiada za to system kompensacji strzałki.



Rys. 6.64 System kompensacji strzałki ugięcia

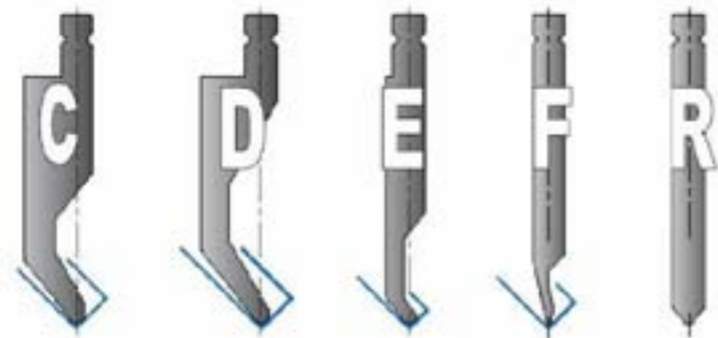
Może działać on automatycznie współpracując z elektronicznym pomiarem kąta, który pokazano w poprzednim rozdziale. Są również wersje ręczne w których operator robi to sam.

Jeśli różnica kątów ma miejsce na skrajnych kątach, usuwa się ją wprowadzając lekkie przekoszenie suwaka w prowadzając różnice do osi Y1 i Y2 (rys. 6.64).

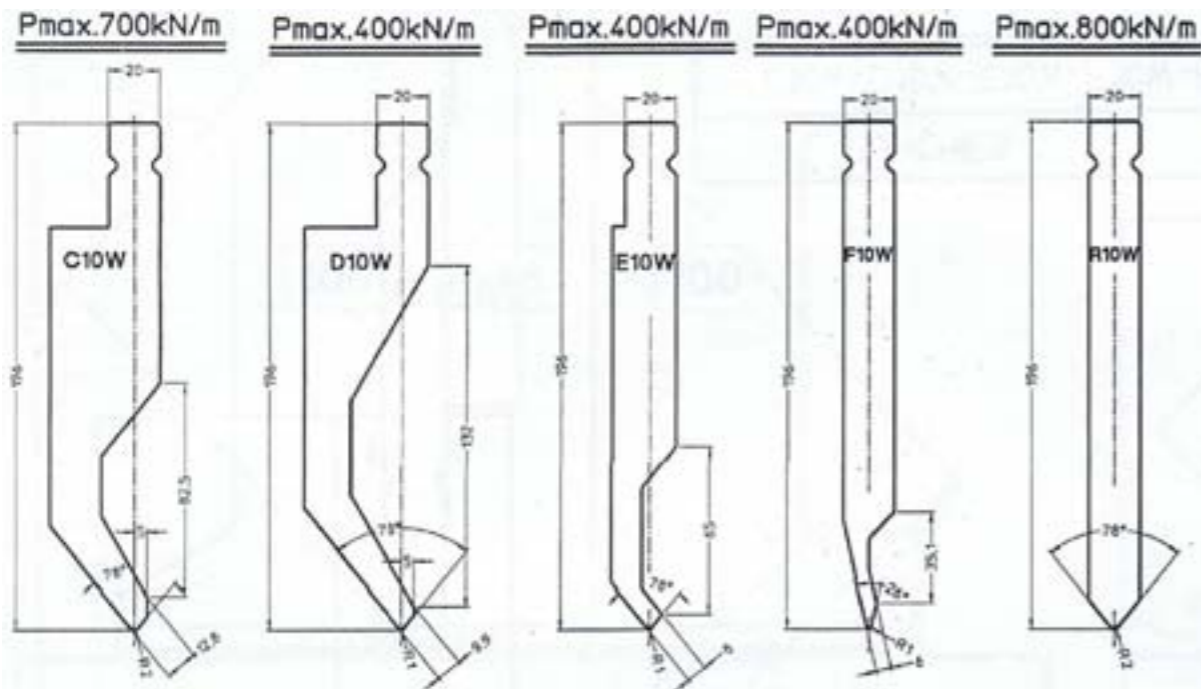
6.13 Załączniki

V (mm)	Hoek (°)	B (mm)	A (mm)	Pmax (kN/m)	H = 90 (kg/508mm)	H=130 (kg/508mm)
6	30	16	32	200	7,5	10
8	30	18	32	220	8	10,5
10	30	25	32	300	10	14
12	30	25	32	380	12	17
16	30	32	/	380	11,5	16,5
20	30	40	/	380	14	20
24	30	45	/	550	16,5	24,5
6	78	12	32	400	6,5	8
8	78	12	32	400	6,5	8
10	78	14	32	500	7	9
12	78	18	32	600	8	11
16	78	25	32	800	10	14
20	78	32	/	1000	12	17
24	78	32	/	1000	11,5	16,5
30	78	40	/	1100	14	20,5
40	78	50	/	1300	17	25
50	78	70	/	1500	23	34
60	78	70	/	1500	21,5	32,5
80	78	95	/	1500	27	42
100	78	120	/	1500	32	51
120	78	140	/	1500	/	56

Załącznik 1 Wymiary matryc i ich dopuszczalne naciski wg katalogu LVD

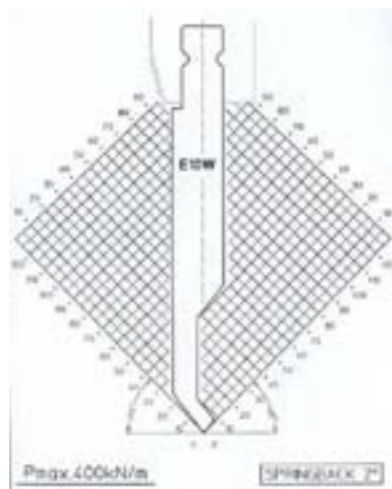


Załącznik 2 Typy stempli wg katalogu LVD



Załącznik 3 Naciski dopuszczalne stempli wg katalogu LVD

Diagram służy do wstępnej kontroli kolizji narzędzie i giętego detalu. Jest on najczęściej wykonany w skali 1:1. Detal można naszkicować korzystając z umieszczonej tu siatki. Najczęściej robi się to na nałożonej kalce. Obecnie jednak rolę diagramów przejęły programy.

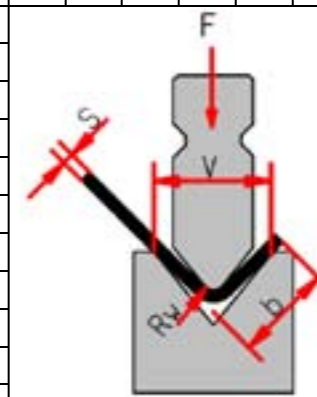


Załącznik 4 Diagram kontrolny stempla

V	Rw	b	S	0.5	0.8	1	1,2	1,5	1,8	2	2,5	3	4	5	6	8	10	12	15	20	25	
4	0,7	2,6	4	10,																		
6	1	4	3.5	6	10	13										v	Rozwarcie matrycy[mm]					
8	1.5	5,2	2	5,5	8	11,	18									S	Grubość detalu [mm]					
10	U	6,5		4,1	6,5	9,5	14,	21	26							Rw	Promień gięcia [mm]					
12	2	7,8			5,5	8	12	17,	21,	33,						b	Minimalna półka					
16	2,7	10,4				6	9	13	16	25	36					F	Siła gięcia[kN/m]					
20	3,4	13					7.5	10,	13	20	29	52										
25	4,2	16						8,5	10,	16	23	41	64									
30	5	20								14	19	34	54	77								
35	6	23									17	30	46	66								
40	7	26									15	26	40	58	103							
45	7,5	29										23	36	52	91							
50	8,5	32										21	32	46	82	128						
55	9	36											30	42	75	117						
60	10	39											27	39	69	107						
65	10.8	42											25	36	63	99	142					
70	11,7	45												33	59	92	132					
75	12.5	49												31	55	86	123					
80	13.5	52												29	52	80	116	180				
85	14	55													49	76	109	170				
90	15	58													46	71	103	160				
10	17	65													41	64	93	144	256			
11	18.5	71														59	84	131	233			
12	20	78														54	77	120	213	333		
14	24	91															66	103	183	286		
17	29	110																55	85	151	235	
V	Rw	b	S	0.5	0.8	1	1,2	1,5	1,8	2	2,5	3	4	5	6	8	10	12	15	20	25	

Załącznik 5 Tabela sił nacisk

Załącznik 6 Siła gięcia [kN/m] dla stali 400 N/mm², kąt prosty, długość gięcia 1000mm.



V(mm) \ α	30°	45°	60°	75°	90°	105°	120°	135°	150°	165°
4	0.17	0.07	0.04	0.03	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01
6	0.26	0.11	0.07	0.05	0.04	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
8	0.36	0.14	0.08	0.06	0.05	0.04	0.04	0.03	0.03	0.03
9	0.41	0.16	0.09	0.07	0.05	0.05	0.05	0.04	0.03	0.03
10	0.45	0.18	0.10	0.08	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.04
12	0.54	0.22	0.13	0.08	0.07	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
14	0.61	0.24	0.15	0.10	0.08	0.07	0.06	0.06	0.06	0.06
15	0.66	0.26	0.16	0.11	0.08	0.08	0.07	0.07	0.07	0.06
16	0.71	0.28	0.16	0.12	0.09	0.08	0.07	0.07	0.07	0.07
18	0.81	0.32	0.19	0.13	0.11	0.09	0.08	0.08	0.07	0.07
20	0.90	0.36	0.21	0.15	0.11	0.10	0.09	0.09	0.09	0.08
22	1.00	0.40	0.23	0.16	0.13	0.11	0.10	0.09	0.09	0.09
24	1.09	0.44	0.25	0.17	0.14	0.11	0.10	0.10	0.10	0.10
25	1.14	0.46	0.26	0.19	0.14	0.12	0.11	0.11	0.11	0.10
28	1.26	0.51	0.29	0.21	0.16	0.14	0.13	0.12	0.11	0.11
30	1.35	0.54	0.31	0.22	0.17	0.15	0.14	0.13	0.13	0.13
35	1.59	0.64	0.37	0.26	0.20	0.17	0.15	0.15	0.15	0.15
40	1.82	0.73	0.42	0.29	0.23	0.20	0.17	0.17	0.17	0.17
45	2.06	0.83	0.48	0.33	0.26	0.22	0.20	0.19	0.19	0.19
50	2.29	0.92	0.53	0.37	0.29	0.24	0.22	0.21	0.21	0.21
55	2.51	1.01	0.57	0.40	0.31	0.27	0.24	0.23	0.23	0.23
60	2.74	1.10	0.64	0.44	0.35	0.29	0.27	0.25	0.25	0.25
70	3.22	1.29	0.74	0.51	0.40	0.34	0.31	0.29	0.29	0.29
80	3.70	1.48	0.84	0.59	0.46	0.39	0.35	0.33	0.33	0.33
100	4.62	1.85	1.06	0.74	0.57	0.48	0.44	0.42	0.41	0.41
120	5.56	2.23	1.27	0.88	0.68	0.58	0.53	0.49	0.49	0.49
140	6.51	2.60	1.49	1.03	0.80	0.68	0.61	0.58	0.57	0.57

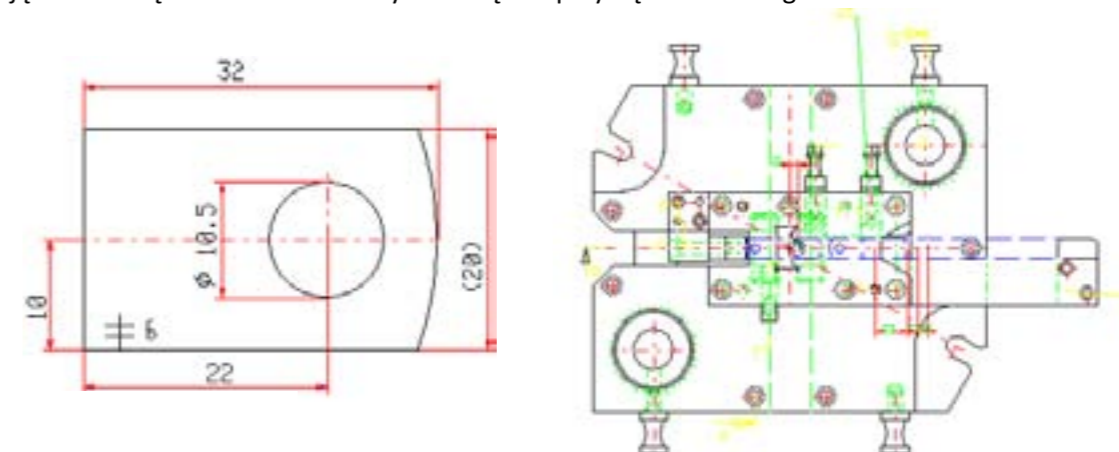
Załącznik 7 Tabela Korekt kąta

Tabela przedstawia korektę współrzędnej Y jaką należy zrobić aby kąt gięcia zwiększył się o 1°. Dla przykładu jeśli gniemy na matryce V= 20 kąt 90° to obniżenie suwaka o 0.11 mm zwiększy kąt gięcia o 1°.

7. WSTĘP DO TECHNOLOGII CIĘCIA LASEREM

7.1 Obróbka blach

Pojawienie się wycinarek laserowych spowodowało przełom w technologii. Powstały metody wytwarzania uwalniające obróbkę blach od kosztownych narzędzi i przyrządów. Dlaczego?

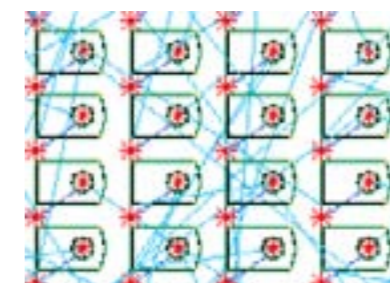


Rys. 7.1 Detal (z lewej)

Rys. 7.2 Przyrząd do wykonania detalu (z prawej)

Na rysunkach pokazano przykładowy przyrząd używane w dawnej technologii. Jego koszt to około 15 000 – 20 000 pln. Praktycznie mógł on być używany tylko do tego detalu. Jakakolwiek zmiana kształtu detalu powodowała konieczność dokonania kosztownych przeróbek przyrządu. Czas wdrożenia do produkcji – kilka tygodni.

Przygotowanie programu NC wykonującego taki detal to 15–20 minut. Koszt wycięcia to rząd 0,6–0,7 pln. Czas jaki upłynie od pomysłu do wykonania to około godziny (przy partii rzędu 150). Nie ma obecnie innej tak szybkiej i elastycznej metody wytwarzania detali z blach. Narzędziem tnącym może być tu plazma, woda. Nas jednak najbardziej interesuje laser, gdyż jest on zdecydowanym liderem w tej grupie obrabiarek.



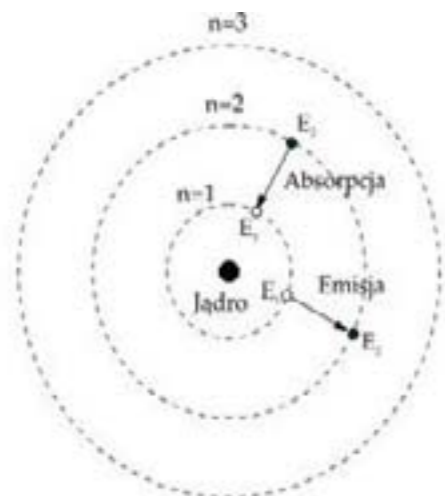
Rys. 7.3 Fragment arkusza rozkroju

7.2 Światło jako narzędzie tnące

Jakie światło tnie metal i dlaczego? Znalezienie odpowiedzi na to pytanie pozwoli nam na zrozumienie podstaw laserowej techniki cięcia. Zaczniemy od energii. Aby zmienić materiał trzeba dostarczyć mu energii, która wnika w jego strukturę powodując jej zmianę. Wiadomo, że w naturze rozchodzi się ona jako fale o określonych parametrach takich jak długość, wysokość czy częstotliwość. W zależności od ich wartości zauważamy ją jako ciepło, dźwięk czy światło. Istnieją oczywiście i takie zakresy fal, których nie jesteśmy w stanie zauważyć. Każdą formą energii możemy w jakiś sposób sterować. Stosunkowo łatwo jest sterować światłem. Możemy stosować tutaj proste sprzęty znane z optyki takie jak lustro i soczewki.

Jak powstaje światło

Zgodnie z teorią Bohra każdy elektron ma swoją orbitę. Jeśli na skutek dostarczonej energii przeskoczy na wyższą powłokę szybko wraca na właściwą. Musi jednak pozbyć się nadmiaru energii. Emituje więc jej cząstkę – foton. Jego częstotliwość i długość fali określa kolor światła które widzimy. Różne kolory powstają jeśli elektrony wracają na swoją podstawową orbitę z różnych poziomów. Należy pamiętać, że źródłem światła mogą być tylko te ciała, które promieniają czyli wysyłają fotony. Pozostałe mogą tylko odbijać światło. Przykładem może tu być pomidor. Dojrzały w słońcu jest czerwony. Dlaczego? Jego struktura pochłania pozostałe kolory a odbija tylko czerwony. Sam pomidor nie świeci. Im gorzej oświetlony tym bardziej staje się czarny.

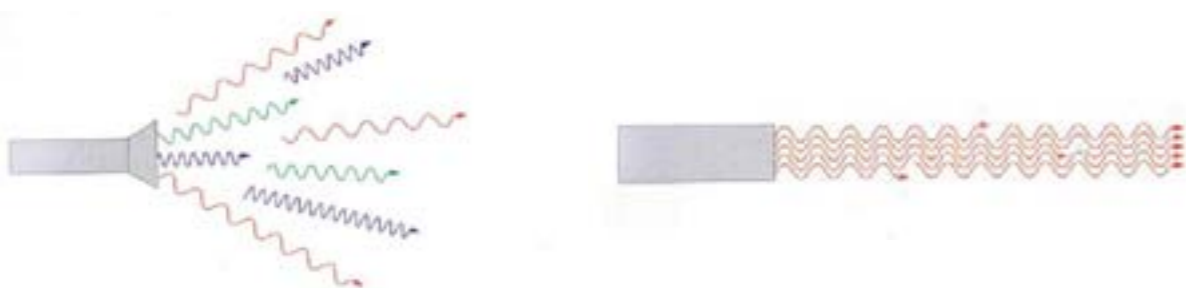


Rys. 7.4 Model atomu Bohra

Laser – co to jest

L	IGHT	WZMOCNENIE
A	MPLIFICATION BY	ŚWIATŁA POPRZEZ
S	TIMULATED	WYMUSZONĄ
E	MISSION OF	EMISJĘ
R	ADIATION	PROMIENIOWANIA

To oficjalna definicja. Oczywiście nie dla wszystkich w tej formie jest zrozumiała. Tłumacząc to w pewnym uproszczeniu można powiedzieć, że laser to światło jednego koloru.



Rys. 7.5 Światło latarki (z lewej)

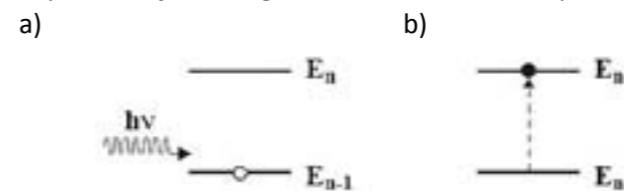
Rys. 7.6 Światło lasera (z prawej)

Jak widać na rysunku latarka jako źródło światła wysyła cały zbiór fal o różnych parametrach. My widzimy je jako zbiór różnych kolorów pod warunkiem, że mieszczą się w zakresie rozpoznawalnym przez nasze oko czyli w tzw. paśmie światła widzialnego. Takim niejednorodnym strumieniem energii nie jest łatwo sterować i trudno go skupić. Dowodem na to jest chociażby tęcza powstająca po przejściu takiej wiązki przez

kryształ. Każdy kolor przechodzi przez niego trochę pod innym kątem co jest przyczyną powstania efektu rozszczepienia światła. Jest to bardzo niekorzystne jeśli chcemy zgromadzić energię w bardzo niewielkim, precyzyjnie określonym punkcie. Zupełnie inaczej wygląda to w przypadku lasera. Powstaje tam jeden rodzaj fali, o tych samych parametrach będącej w tej samej fazie i kierunku. Biegają one prawie równolegle. Taką wiązką łatwo sterować przy pomocy luster a także precyzyjnie skupiać w punkt o średnicy rzędu 0.2 –0.5 mm Dzięki uzyskanej w ten sposób dużej gęstości energii można ciąć blachy o grubości 20 mm już przy źródle o mocy 3 kW.

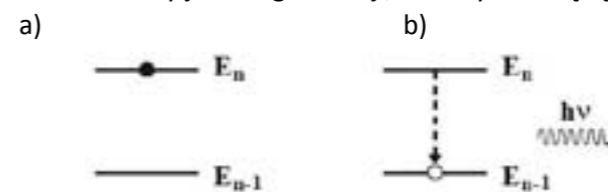
Podstawowym zadaniem generatora jest więc wytworzenie światła jednego koloru. Mówiąc dokładniej światło lasera jest monochromatyczne (fotony mają tę samą długość fali), spójne (fotony są w tej samej fazie) i ukierunkowane (fotony poruszają się w tym samym kierunku).

W wyniku pochłonięcia energii o wartości $E=h\nu$ układ przechodzi do stanu wzbudzonego.



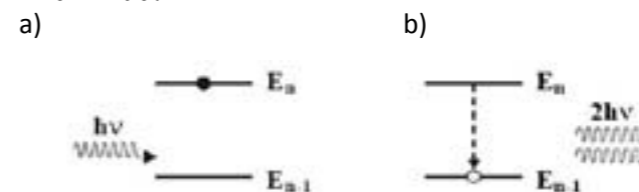
Rys. 7.7 Absorpcja, a) stan podstawowy, b) stan wzbudzony

Powrót do stanu podstawowego może w sposób spontaniczny. Wypromieniowana zostaje cząstka energii czyli foton. Nie mamy jednak gwarancji, że wszystkie będą miały tę samą długość fali fazy i kierunek.



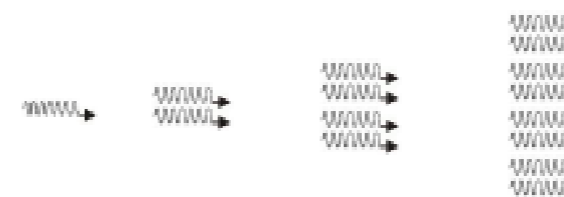
Rys. 7.8 Emisja spontaniczna, a) stan wzbudzony, b) stan podstawowy

Jeśli wzbudzony układ pochłonie foton to przechodząc do stanu podstawowego (E_{n-1}) emituje dokładnie dwa identyczne fotony. Powstaje więc światło monochromatyczne, spójne i ukierunkowane. Zamiast jednej porcji energii która weszła do układu otrzymujemy dwie. Jest to właśnie wzmocnienie światła poprzez wymuszoną emisję promieniowania.



Rys. 7.9 Emisja wymuszona, a) stan wzbudzony, b) stan podstawowy

Efektem wymuszonej emisji jest kaskada fotonów. Jak widać są mają tę samą długość fali są spójne i ukierunkowane. Tworzą więc promień światła laserowego.



Rys. 7.10 Emisji wymuszona – kaskada fotonów

7.3 Rodzaje laserów

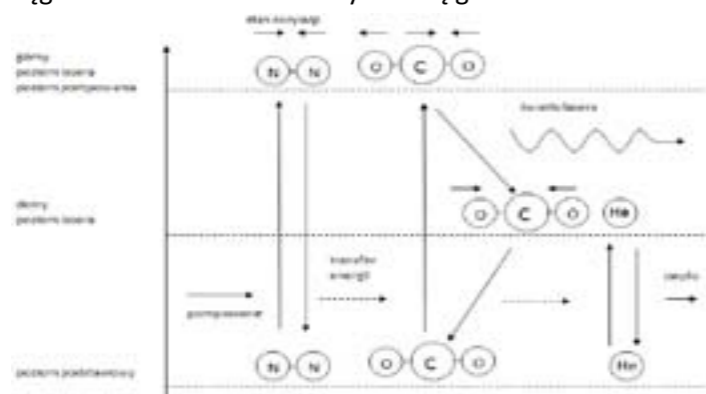
Lasery możemy podzielić stosując różne kryteria. Najważniejszym kryterium jest podział ze względu na rodzaj ośrodka czynnego, w którym nastąpiło wzbudzenie promieniowania laserowego. Są to lasery:

- Stałe (w których ośrodkiem czynnym jest kryształ dielektryczny lub szkło aktywowane):
 - krystaliczne, np. laser rubinowy (ośrodkiem czynnym jest rubin), laser YAG (ośrodkiem czynnym jest rdzeń itrowo–alumiowy z domieszką neodymu),
 - szklane, np. laser neodymowy,
 - półprzewodnikowe, np. lasery InP, GaAs.
- Cieczowe (w których ośrodek czynny stanowią centra aktywne zawieszone w cieczy):
 - barwnikowe, np. lasery z roztworami rodaminy,
 - chemiczne, np. laser chlorowodorowy.
- Gazowe (w których ośrodkiem czynnym jest gaz, mieszanina gazów lub mieszanina gazów i par metali):
 - atomowe, np. laser helowo–neonowy,
 - jonowe, np. laser argonowy,
 - molekularne np. laser CO₂, laser azotowy,
 - ekscymerowe np. laser ArF.
- Inne:
 - na elektrodach swobodnych FEL (lasery oparte na generacji promieniowania w procesie zmiany prędkości elektronów relatywistycznych przechodzących przez specjalnie ukształtowane pole magnetyczne),
 - rentgenowskie i promieniowania gamma (lasery wykorzystujące inne promieniowanie).

Jak widać jest wiele rodzajów generatorów promieni laserowych ale w tym podręczniku ograniczymy się tylko do najważniejszych, które znalazły zastosowanie w wycinarkach laserowych. Należą do nich lasery gazowe (CO₂) i takie których źródłem światła lasera jest ciało stałe (neodymowe).

Lasery gazowe CO₂

W chwili obecnej jest to najpopularniejszy typ rezonatora. Jest on wypełniony mieszaniną gazów azotu, helu i dwutlenku węgla ale to właśnie molekuly CO₂ są generatorami światła laserowego.

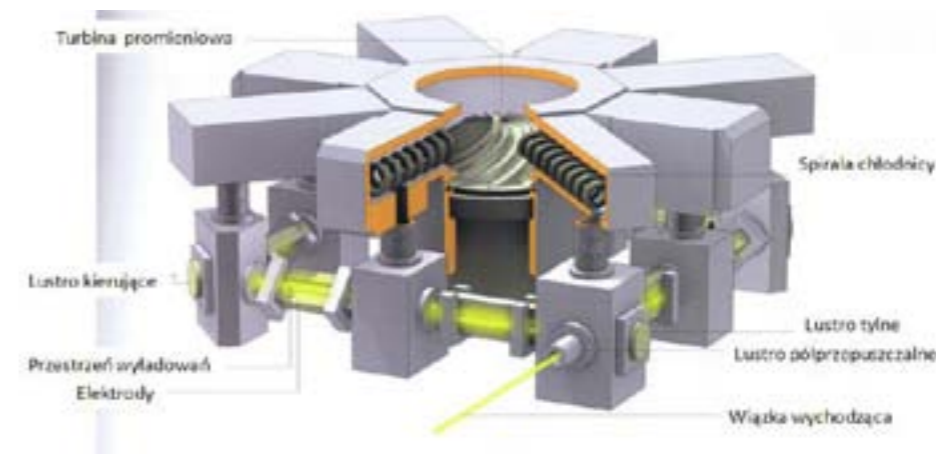


Rys. 7.11 Zasada działania rezonatora CO₂

W mieszaninie gazów w polu elektrycznym wysokiej częstotliwości uwalniane są elektrony, które uderzają w atomy azotu i wzbudzają je. Molekuly N₂ zaczynają krążyć i zderzając się z CO₂ powodują ich przejście od stanu podstawowego do górnego poziomu lasera. Oczywiście molekuly dwutlenku węgla chcą wrócić do stanu podstawowego. Przeskakując do dolnego poziomu lasera wysyłają wiązkę światła laserowego. Do stanu podstawowego mogą dojść jednak tylko po „schłodzeniu”. Rolę czynnika chłodzącego spełnia tutaj hel zderzając się z molekulami CO₂ zabierając od nich ciepło. Przy tego typu lasera skład mieszanki jest następujący: 5,5 % CO₂, 29,0% N₂, 65,5% He. Te gazy nazywane są **GAZAMI LASEROWYMI**.

Przeptywowy rezonator CO₂ o budowie kwadratowej

Ta bardzo popularna konstrukcja pojawiła się w 1989 roku. Na początku przy jej użyciu można było ciąć blachy do 12 mm. Szesnaście lat później granica ta przesunęła się do 30 mm. Obecnie, w zależności od konfiguracji, można tutaj uzyskiwać wiązkę laserową o mocy do 20 kW.

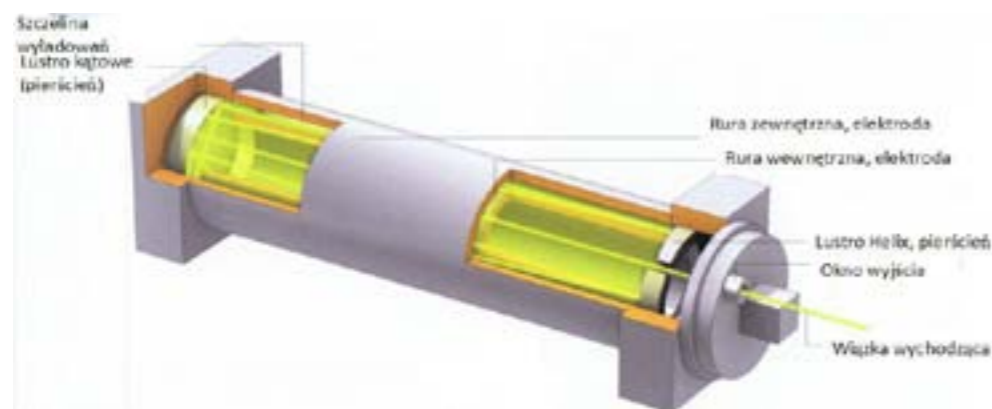


Rys. 7.12 Rezonator CO₂ o budowie kwadratowej

Gazy laserowe krąży w szklanych, kwarcowych rurkach tworzących ścieżkę rozładowań wzdłuż której wzbudzone cząsteczki CO₂ pozbywają się zbędnej energii w postaci fotonów. Na zewnątrz umieszczone są elektrody, które bez kontaktu z gazami przekazują im energię niezbędną do wywołania ruchu molekuł. W wyniku tego na skutek zderzeń następuje wzbudzenie cząstek. Ścieżka o długości kilku metrów umożliwia „wyprodukowanie” mocy laserowej o wartości ponad dwa kilowaty. Aby utrzymać zwartą konstrukcję generatora, rurki są umieszczone na planie kwadratu. W narożach umieszczone są lustra kierujące. Drogę wiązki z jednej strony zamyka lustro tylne – całkowicie odbijające strumień fotonów. Z drugiej strony wiązka laserowa wychodzi przez lustro półprzepuszczalne, które dzięki swej konstrukcji przepuszcza tylko część promieni. Reszta jest odbijana i wracając z powrotem doładowuje się biorąc udział we wzmocnienie światła poprzez wymuszoną emisję promieniowania. W środku kwadratowej konstrukcji umieszczona jest turbina zapewniająca ciągły przepływ gazów przez ścieżkę. Umieszczona na łożyskach elektromagnetycznych jest praktycznie bezobsługowa. Na wlocie i wylocie każdej rurki znajdują się układy chłodzące gazy laserowe. Odbieranie ciepła jest niezbędne do sprowadzenia cząsteczek z powrotem do stanu podstawowego (rys. 7.12 Zasada działania rezonatora CO₂). Dla ciągłości procesu konieczna jest precyzyjna kontrola procentowego składu mieszanki gazów. Odpowiada za to mieszalnik gazów. Pompa próżniowa zapewnia natomiast stałe ciśnienie na poziomie 100 hPa.

Rezonator CO₂ z chłodzeniem dyfuzyjnym

Konstrukcja tego rezonatora jest dużo prostsza. Jego podstawową cechą jest sposób chłodzenia gazów. Nie ma tutaj wymienników ciepła. Jego nadmiar odprowadzane jest przez dyfuzję (unoszenie). Innymi słowy przenika przez ścianki cylindra.

Rys. 7.13 Rezonator CO₂ z chłodzeniem dyfuzyjnym

Rolę ścieżki rozładowań pełni niewielka szczelina pomiędzy elektrodami. Jest ona wypełniona mieszaniną gazów laserowych. Nie potrzeba tutaj turbiny gdyż mieszanka o odpowiednim składzie jest zawarta w specjalnym zewnętrznym zbiorniku. Co 72 godziny następuje całkowita wymiana gazów. Jednak dzięki małym wymiarom szczeliny zapotrzebowanie na gaz jest niewielkie. Niewielka butla wystarcza na półtora do dwóch lat. Aby promień lasera mógł się doładować jego droga w generatorze musi mieć odpowiednią długość. W poprzedniej konstrukcji poruszała się on po kwadracie sterowany lustrami kątowymi. Tutaj rolę tę pełnią dwa pierścieniowe lustra których powierzchnie odbijające ułożone są pod kątem 45°. Efektem tego jest odbicie promienia najpierw wzdłuż średnicy lustra a następnie, po trafieniu w przeciwległą krawędź pierścienia, powrót do szczeliny pomiędzy elektrodami. Taki kształt luster gwarantuje niezmienną ścieżkę promienia nawet jeśli nastąpią jakieś odkształcenia termiczne na skutek nagrzania cylindrów. Strumień fotonów będzie więc krążył pomiędzy lustrami. W tym czasie jest cały czas wzmacniany. Lustro wyjściowe ma specjalną szczelinę po trafieniu w którą część promieni lasera opuszcza generator. Nie potrzeba tutaj skomplikowanych wymienników gdyż dzięki przenikaniu ciepła (dyfuzji) poprzez ścianki cylindra jest wystarczające aby „schłodzić” cząsteczki do stanu podstawowego. Konstrukcja ta jest rozwijana od 2003 i ma duże szanse na stosowanie w nowych typach wycinarek.

Lasery na ciało stałe

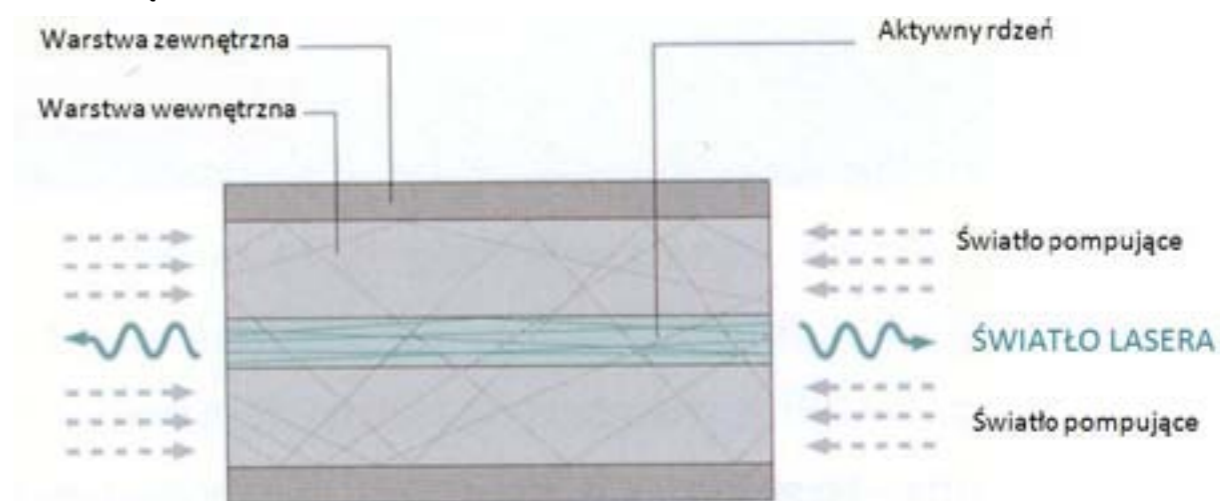
Pierwsze lasery na ciało stałe na skalę przemysłową były używane już od 1970 roku. Podstawą ich działania był syntetyczny kryształ rubinu. Lasery rubinowe mają jedną niewielką sprawność. Zaczęto poszukiwać innych, bardziej sprawnych układów. Warunkiem wstępnym była bardzo dobra przezroczystość (musi przechodzić przez nie wiązka światła). Dlatego też nie można było wykorzystać kryształów metali. Obecnie najczęściej światło lasera jest generowane poprzez fluorescencję obcych jonów, których niewielkie ilości zostały wprowadzone do szkła lub kryształu tworzących ośrodek aktywny. Jako domieszki stosuje się neodym (Nd) lub ytterbium (Yb). Jako bazę używa się syntetyczny kryształ granatu itrowo-glinowy YAG (Yttrium Aluminium Granat). Jest on przezroczysty i bezbarwny. Z tego względu jest wykorzystywany również do produkcji sztucznej biżuterii. Dopiero domieszka jonów Nd lub Yb przekształca go w czerwony kryształ. Nd:YAG używany jest do budowy generatorów prętowych, Yb:YAG do dyskowych a Yb:szkło do włóknowych. Do głównych zalet laserów na ciało stałe należy:

- Mała długość fali rzędu 1 mikrometra.
- Podstawowa długość fali może zmieniana. Można uzyskać kolor zielony i ultrafioletowy. Daje to możliwość lepszego dostosowania do konkretnych zadań.
- Dostępny jest zarówno ciągły tryb pracy (CW) jak i pulsacyjny (laser jest włączany i wyłączany z częstotliwością rzędu kilkunastu kHz).
- Szeroki zakres generowanej mocy. W trybie ciągłym do kilku kilowatów, w trybie pulsacyjnym nawet do kilku setek.
- Dobra jakość promienia lasera.

Wycinarki laserowe z laserem na ciało stałe są coraz bardziej popularne. Dzięki możliwości stosowania tutaj światłowodów prowadzenie wiązki jest dużo prostsze. Upraszcza to konstrukcję maszyny. Szczególnie dynamicznie rozwijają się lasery włóknowe i dyskowe. Kształt długiego włókna i cienkiego dysku pozwala na łatwe odprowadzenia temperatury. Jako narzędzie pompujące (wzmacniające promień lasera) wykorzystuje się w obu przypadkach lasery diodowe wykorzystujące półprzewodniki dające światło o dużej gęstości.

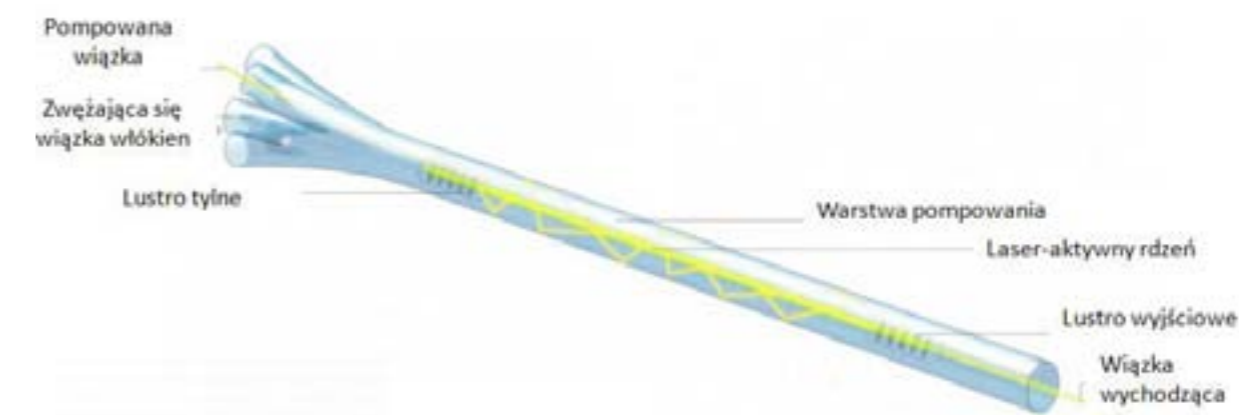
Laser włóknowy (fiber)

Laser włóknowy o dużej mocy zbudowany jest z dwóch warstw szkła i aktywnego rdzenia (szkło z domieszką ytterbium). Grubość przekroju wynosi tu około 1 mm. W rdzeniu powstaje światło (fluorescencja wolnych jonów). Porusza się w nim również promień lasera. Wewnętrzna warstwa jest obszarem pompowania czyli doładowywania wiązki. Zewnętrzna – utrzymuje światło pompujące wewnątrz włókna i jednocześnie pełni rolę ochronną.



Rys. 7.14 Budowa lasera włóknowego

Każda warstwa ma inny współczynnik załamania wzrastający do środka (największy jest w rdzeniu). Powoduje to odbijanie się światła od każdej zewnętrznej granicy co utrzymuje go w środku włókna.

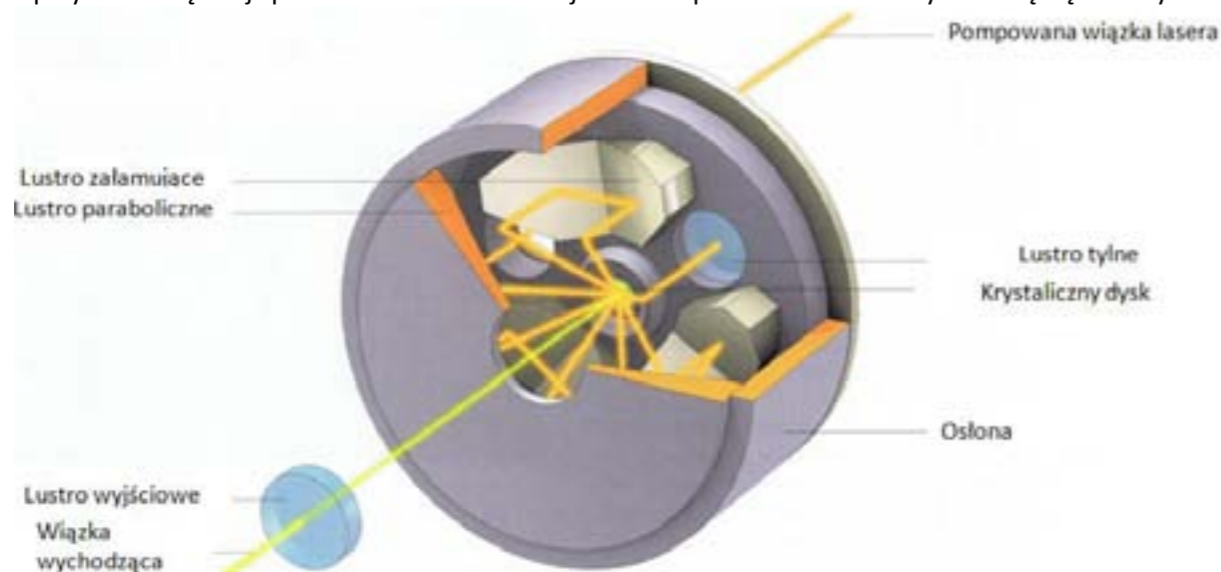


Rys. 7.15 Schemat włókna lasera

Jak widać w budowie tego generatora występują dwa lustra. Tylne (zamykające), które całkowicie odbija wiązkę i wyjściowe – półprzepuszczalne. Rolę luster pełnią tutaj siatki Bragga czyli układ składający się z kilku warstw o różnych właściwościach.

Laser dyskowy

Lasery dyskowe pojawiły się na rynku w 2003. Jest to więc dość nowy typ źródła ale z dużymi szansami na zastąpienie laserów CO₂. Eksperci uważają, że da się w nim uzyskać promień lasera o podobnej jakości ale przy dużo większej sprawności. Standardowa jednostka pozwala obecnie uzyskać wiązkę o mocy 2 kW.



Rys. 7.16 Laser dyskowy

Sercem lasera jest 15 mm krążek krystaliczny (YAG) o grubości rzędu jednej dziesiątej milimetra. W środku ma domieszkę ytterbium. Jest on umiejscowiony na radiatorze zapewniającym usunięcie nadmiaru ciepła. Tylna, chłodzona strona dysku ma powierzchnię całkowicie odbijającą wiązkę lasera i pompujące promienie światła, których źródłem są diody.

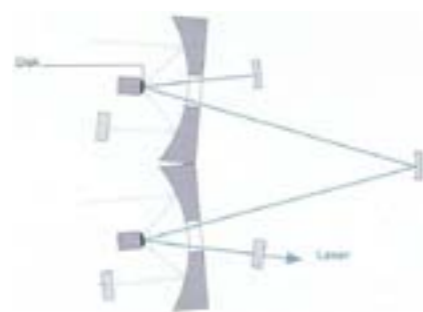


Rys. 7.17 Krążek dysku

Światło to jest ogniskowane na dysku w plamkę o średnicy kilku milimetrów. Dysk jest tak cienki, że pochłania tylko te promienie, które przez niego przejdą. Aby zwiększyć tę absorpcję układ lusterek powoduje, że wiązki przechodzą przez dysk wielokrotnie. Promień odbity prostopadłe do powierzchni dysku trafia w otwór przez który opuszcza obudowę układu lusterek gdzie na zewnątrz umieszczone jest lustro wyjściowe.



Rys. 7.18 Lasery dyskowe połączone w zestaw

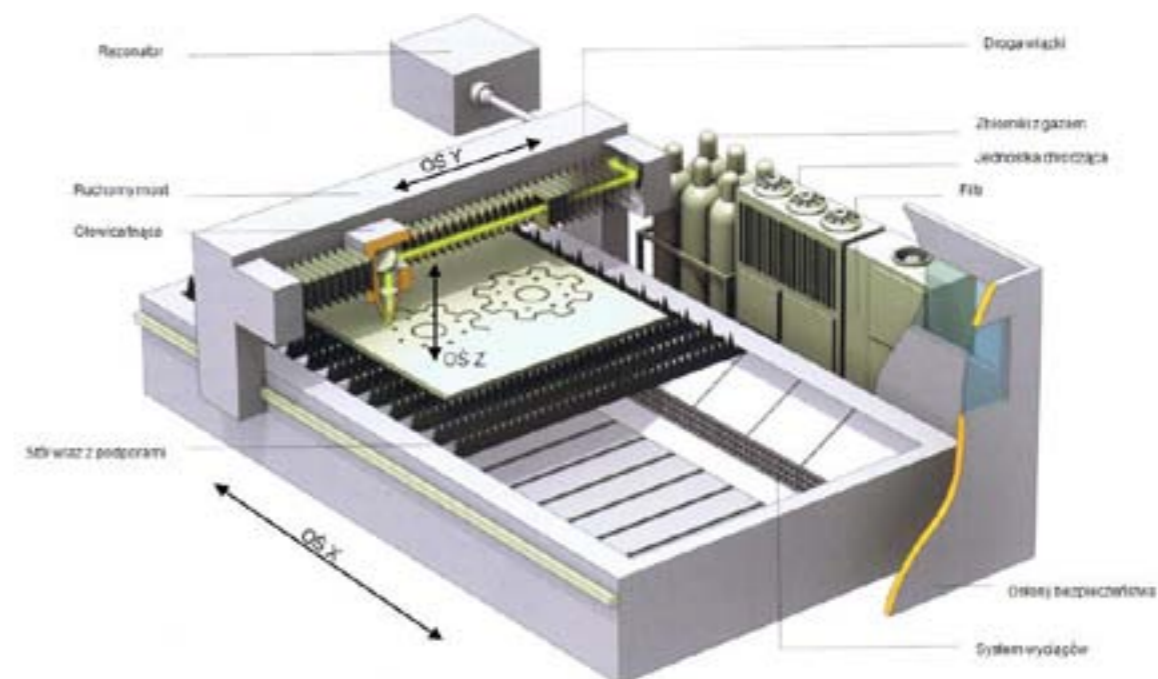


Lasery dyskowe, dzięki swojej kompaktowej konstrukcji, umożliwiają łatwe tworzenie całych zestawów. Możemy uzyskać wtedy promień lasera o bardzo dużej mocy.

7.4 Wycinarki laserowe

Źródło lasera pełni w wycinarce laserowej tylko rolę narzędzia. Potrzebny jest jeszcze, jak w każdej obrabiarce CNC, system, który będzie nim sterować. Podobnie jak w centrach obróbkowych bardzo popularny jest tutaj Fanuc i Siemens. Niektórzy producenci jak np. Bystronic mają własne systemy ale większość korzysta właśnie z tych dwóch. W olbrzymiej większości wycinarek 2D to głowica porusza się nad całym obszarem arkusza. Właściwie tylko obrabiarki w których obok głowicy laserowej występuje również mechaniczna ruch roboczy wzdłuż osi wykonuje arkusz wraz ze stołem na którym leży. Te rozwiązanie ma jednak sporo ograniczeń (np. wielkość arkusza, jego ciężar, grubość) stosuje się więc coraz rzadziej głównie cienkich blach. Mieszany system stosuje się natomiast w wycinarkach do blach o dużych gabarytach. Głowica porusza się tylko nad częścią stołu roboczego. Po wykonaniu wszystkich elementów z tej sekcji arkusz przesuwa się o określony skok tak aby obszar roboczy głowicy przesunął się w nowe miejsce. Zdecydowanie jednak większość konstrukcji opiera się na zamkniętej obudowie z prowadnicami wzdłuż której porusza się głowicą. Jej obszar roboczy obejmuje całą maksymalny zakres obróbkowy. Osłony dookoła są potrzebne ze względów bezpieczeństwa. Odbity promień może być niebezpieczny dla oka. Szczególnie jest to ważne przy źródle laserowym na ciało stałe. Światło w nich wytwarzana jest dużo bardziej przenikliwa i bardzo niebezpieczna dla wzroku. Okienka inspekcyjne w tym przypadku są małe gdyż materiał z których musi być wykonywany jest bardzo drogi. Niektórzy producenci stosują wyłącznie kamery do kontroli przebiegu cięcia.

7.4.1 Budowa wycinarki laserowej

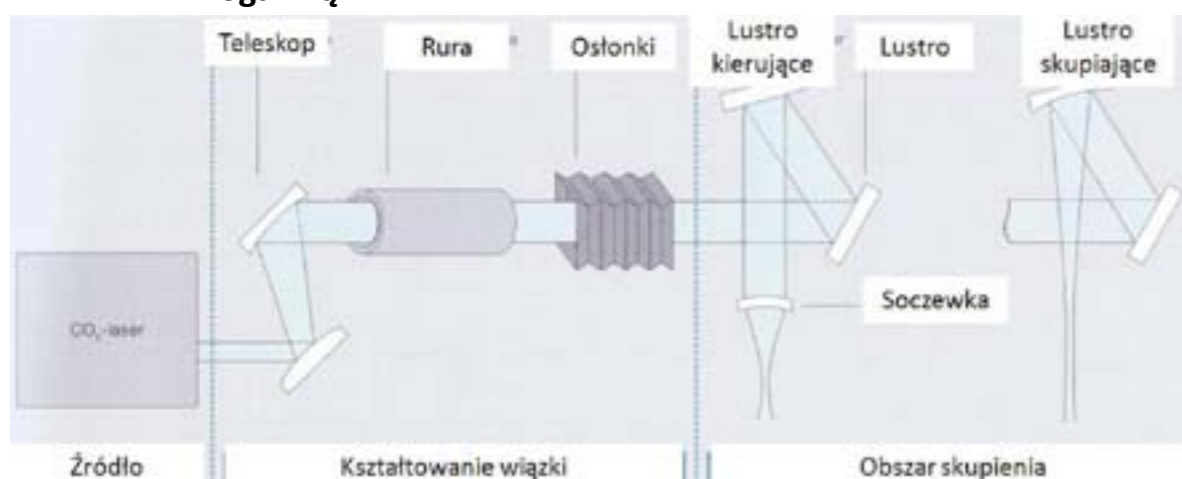


Rys. 7.19 Uproszczony schemat wycinarki laserowej

Na rysunku przedstawiono typową wycinarkę 2D. Zaznaczono tu co prawda również oś Z ale ta odpowiada tylko za utrzymanie głowicy w odpowiedniej wysokości nad stołem roboczym i nie jest związana z geometrią detalu. Rezonator to źródło lasera. W zależności od typu i producenta jest on umieszczany w różnych miejscach. Dla laserów CO₂ wiązka jest przekazywana przez system. W tych na ciało stałe biegnie ona światłowodem. Oba typy potrzebują gazów tnących jak np. O₂ czy N₂. Lasery gazowe mają dodatkowo

przyłączone gazy laserowe (CO_2 , N_2 , He). Arkusz blach leży na wysuwanym stole na listwach ze specjalnie ukształtowanymi zębami. Oczywiście w czasie pracy promień lasera uszkadza je również, więc trzeba je co jakiś czas wymieniać. Bardzo ważną rzeczą w każdej wycinarce jest system wyciągów. W czasie palenia powstają różne dymy a także bardzo niebezpieczny, metaliczny pył. Dla zwiększenia efektywności systemu obszar stołu podzielony jest na sektory. Cała moc wyciągu kierowana jest do części nad którą znajduje się głowica tnąca. Nad oczyszczeniem zassanego powietrza czuwają filtry. Z powodu metalicznego pyłu używa się filtrów z zestawem specjalnych półek na których on osiada. Co jakiś czas następuje czyszczenie poprzez gwałtowne zmniejszenie ciśnienia. Pył opada do pojemnika, który jest hermetycznie połączony z obudową filtra. Do utylizacji oddaje się go po przesypaniu do specjalnej, szczelnie zamkniętej beczki. Zanieczyszczenia te są bardzo niebezpieczne bo zawierają mikroskopijne cząsteczki metalu, które są tak lekkie, że pod wpływem niewielkiego ruchu czy podmuchu łatwo unoszą się do góry. Jeśli by dostały się do płuc mogą spowodować duże problemy.

7.4.2 Droga wiązki



Rys. 7.20 Droga wiązki w laserze CO_2

Na rysunku pokazano typową drogę wiązki stosowaną w laserach CO_2 promień wytworzony w źródle trafia do teleskopu w którym powiększana jest jego średnica. Rozwiązanie takie stosuje Trumpf gdyż jego generator wytwarza wiązkę światła o małej średnicy. Przy stosowaniu rezonatora FANUC teleskop jest zbędny gdyż promień lasera ma tu odpowiednią średnicę. Następnie poprzez układ lusterek wiązka przekazywana jest do głowicy gdzie zostaje skupiona w plamkę o średnicy rzędu 0.2–0.8 mm. W laserach o dużej mocy (pow. 6 kW) do ogniskowania promienia stosuje się najczęściej lustro skupiające, które jest intensywnie chłodzone. Soczewki nie da się tak ochronić a przy dużej gęstości mocy łatwo ulega uszkodzeniu.



Rys. 7.21 Droga wiązki ze źródłem na ciało stałe

W tym przypadku droga jest prostsza. Pojawia się za to lustro dzielące. Pozwala to na podzielenie wiązki laserowej pochodzącej z jednego źródła. Można ją wykorzystać w drugiej głowicy lub np. użyć do spawania. Dalej wiązka skupiana jest poprzez soczewkę i prowadzona do głowicy specjalnym światłowodem zdolnym przenosić duże moce. Po wyjściu z niego w obszarze skupiania jest ponownie poszerzana i skupiana aby uzyskać odpowiednią jakość skupienia.

Układ ten wykorzystuje wygięcie powierzchni lustra pod wpływem wody pozwala kontrolować kąt rozbieżności wiązki co wpływa na wielkość plamki skupienia. Ta regulacja pozwala zmieniać w zależności od potrzeb gęstość mocy i szerokość szczeliny cięcia.



Rys. 7.22 Automatyczna regulacja ogniskowej z zastosowaniem lustra aktywnego (z lewej)

Rys. 7.23 Lustro aktywne (z prawej)



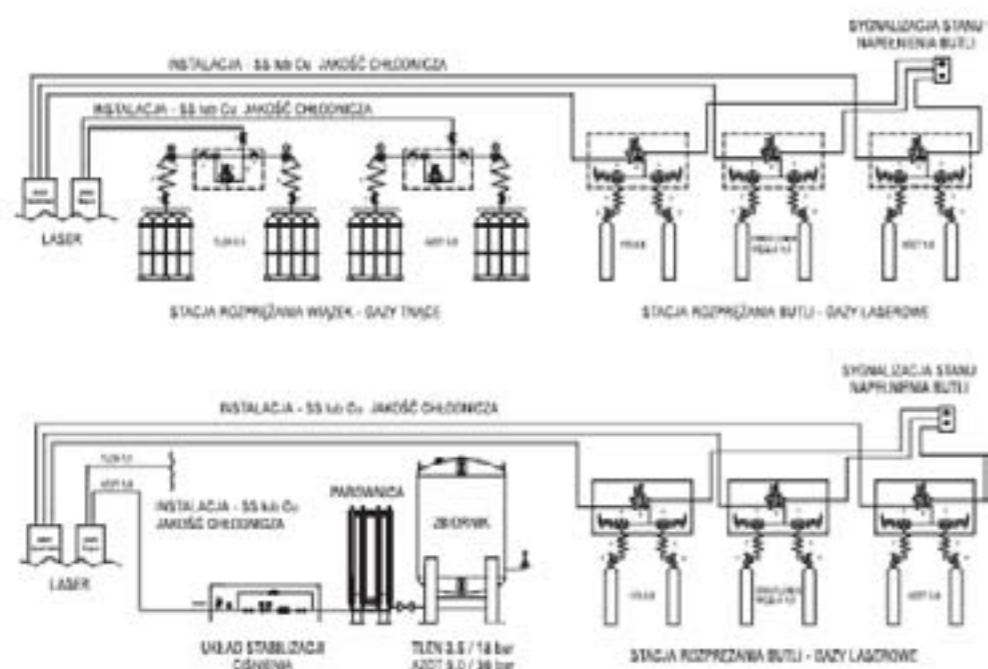
Rys. 7.24 Soczewka skupiająca (z lewej)

Rys. 7.25 Lustro miedziane (z prawej)

W laserach gazowych lustra wykonywane są z miedzi. Ponieważ jest ona świetnym przewodnikiem bardzo łatwo daje się chłodzić. Parametry fali lasera CO_2 nie pozwalają wnikać jej do wnętrza struktury tego metalu. Są więc przez miedź odbijane.

7.4.3 Instalacja gazowa

Niezbędnym składnikiem stanowiska wycinarki laserowej jest instalacja gazowa. Ma za zadanie dostarczyć pod odpowiednim ciśnieniem gazy tnące którymi są tlen, azot, argon i powietrze. Dodatkowo, w przypadku rezonatorów CO_2 musi zabezpieczać również zapotrzebowanie na gazy laserowe czyli CO_2 , N_2 i He. Niektóre źródła same produkują mieszankę z tych trzech składników, inne wymagają dostarczenie jej już w odpowiednich proporcjach.



Rys. 7.26 Przykład schematów instalacji gazów zasilających wycinarki laserowe

Zdecydowanie tańszym rozwiązaniem jest stosowanie ciekłych gazów, które do lasera dostarcza się już w stanie gazowym. Proces rozprężania skroplonego gazu odbywa się w parownikach. Wadą tego systemu jest kosztowna instalacja i konieczność zapewnienia minimalnego zużycia. W przeciwnym razie jeśli rozprężony gaz nie będzie odebrany – jego nadmiar usuwany jest poprzez zawór bezpieczeństwa. Rozprężonym gazem kupowanym w zestawach butli jest jednak kilkukrotnie droższe niż ciekły. Wynika to z procesu technologicznego napełniania. Z powodu bardzo wysokich wymagań co do czystości gazu, każdy zestaw jest kilkakrotnie napełniany i opróżniany w celu dokładnego „wycięcia” butli. Nie można tego zrobić niczym innym jak pełnowartościowym gazem prosto z parownika.



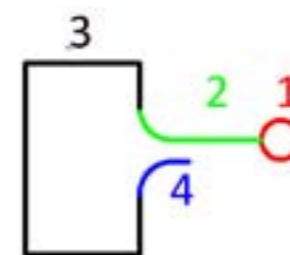
Rys. 7.27 Zbiorniki z ciekłymi gazami tnącymi (z lewej)



Rys. 7.28 Zestaw butli ze sprężonymi gazami zasilającym (z prawej)

7.4.4 Technologia cięcia laserem

Normalnie przy cięciu rozgrzany metal jest usuwany przez gaz dostarczony z jednej strony blachy na drugą stronę. Jeśli jednak zaczynamy cięcie w pełnym materiale – nie jest to możliwe. Trzeba najpierw wykonać otwór i dalej kontynuować proces. Jest tu jednak jeszcze kilka miejsc charakterystycznych i wymagających stosowania odpowiednich metod i parametrów. Dzielimy go więc na 4 etapy.



Rys. 7.29 Cztery etapy cięcia (1 . wpalenie, 2. najazd, 3. cięcie konturu, 4. zakończenie)



Rys. 7.30 Prosty najazd na kontur

Każdy etap może mieć inny zestaw parametrów.

Etap 1: Wpalenie (piercing). Głowica stoi w miejscu dopóki nie zostanie wykonany mały otwór przelotowy. Powstaje mały krater, którego średnica zależy od parametrów i rodzaju soczewki. Najczęściej jest on wykonywany obok właściwego konturu aby nie uszkodzić powierzchni.



Rys. 7.31 Szybkie wpalenie (z lewej)



Rys. 7.32 Delikatne wpalenie (z prawej)

Delikatne wpalenie stosujemy przy otworach o małych średnicach (poniżej 1.5 x grubość blachy) lub jeśli wpalamy się w linię cięcia (cięcie w locie – flycut). Stosujemy wtedy mniejszą moc, wolno obniżając głowicę. Wydłuża to czas procesu ale umożliwia większe odparowanie ciekłego metalu. Pozwala to uzyskać mniejszą średnicę krateru. Czas potrzebny do przepalenia jest podawany jako parametr ale większość obecnych wycinarek posiada system do wykrywania momentu kiedy promień laser przepalił materiał. Jeśli jednak mamy dużo miejsca a zależy nam na czasie stosujemy szybka metodę która jest podobna do strzału. Proces wpalenia jest skomplikowany gdyż zbędny materiał jest tu odparowywany i częściowo wydmuchiwany do góry czyli przeciwnie do kierunku podawanego gazu. Jego optymalizacja ma jednak duży wpływ na całkowity czas cięcia.

Etap 2: Najazd na kontur (approach, lead-in). Głowica po przepaleniu musi najechać na kontur. Długość najazdu najczęściej wynosi 10mm. Pozwala to zachować bezpieczną odległość pomiędzy miejscem przepalenia a krawędzią ciętego detalu.

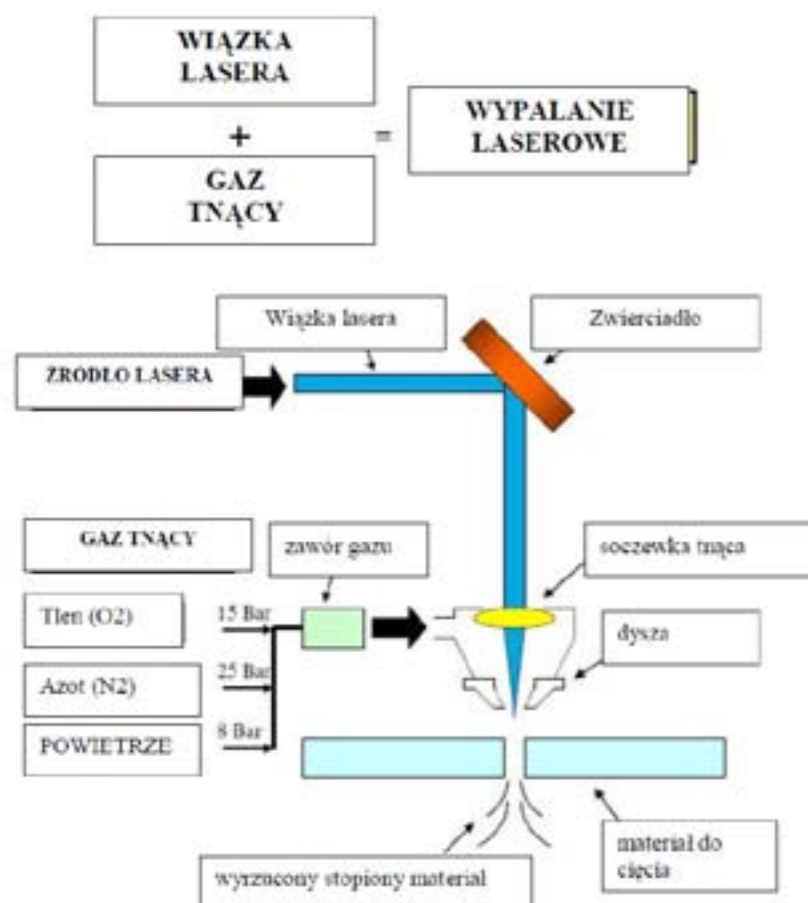


Rys. 7.33 Wpalenie w locie

Wyjątkiem jest tu szybkie cięcie (flycut) gdzie przepalenie ma miejsce na konturze detalu. Można to stosować dla cienkich blach (do ok. 2 mm.). Parametry są tak dobrane aby miejsce wpalenia było jak najmniej widoczne ale jednocześnie robi się to z taką prędkością, że głowica praktycznie nie zatrzymuje się przy wpalaniu.

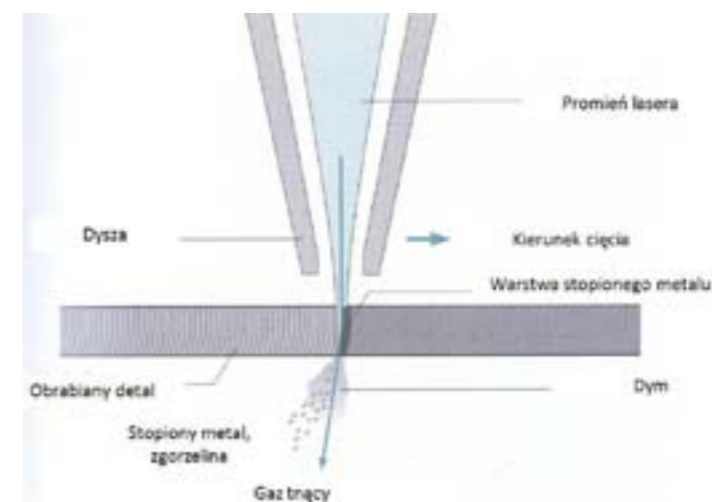
Etap 3: Cięcie konturu (cut). Tutaj wycinana jest geometria detalu. Jest ona jednak często tak zróżnicowana, że nie da się wyciąć detalu jednym zestawem parametrów. Stosuje się najczęściej podział na duże i małe kontury a czasem wprowadza się jeszcze dodatkowo średnie. Podstawowym kryterium jest tutaj stosunek powierzchni elementu bądź otworu do grubości materiału. W przypadku okrągłych można przyjąć tu stosunek średnicy do grubości. Jeśli jest mniejszy od 1.5 mamy do czynienia z małym konturem. Granica ta nie jest stała i zależy od typu i możliwości źródła. Przyczyną takiego podziału jest nagrzewanie się materiału co utrudnia cięcie. Należy stosować parametry, które najczęściej kosztem prędkości i mocy pozwalają ciąć nawet bardzo małe części. Przy dużych konturach można ciąć szybko z największymi mocami gdyż linie ciecica są daleko od siebie.

Etap 4: Zakończenie cięcia (withdraw, lead-out). Najczęściej cięcie kończy się na linii konturu w miejscu jego zamknięcia. Czasem jednak aby zabezpieczyć się przed przekręceniem się na stole wyciętego elementu (są one podparte tylko punktowo) zostawiamy specjalne niedocięcia (microjoint) utrzymujące detal w ażurze (odpad blachy pozostały po wycięciu). Zakończenie na linii konturu powoduje powstawanie małego wżeru. Jeśli jest to niedopuszczalne cięcie kończy się wyjazdem.



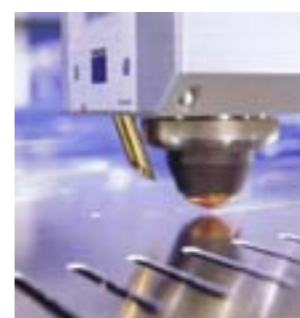
Rys. 7.34 Schemat cięcia laserem

Na rysunku przedstawiono schemat cięcia laserem. Jako źródło występuje generator CO₂ ale zasada jest taka sama dla wszystkich. W głowicy znajduje się soczewka która skupia wiązkę laserową w plamkę rzędu 0.2–0.8 mm. Do głowicy doprowadzane są gazy wspomagające cięcie tzw. gazy tnące.



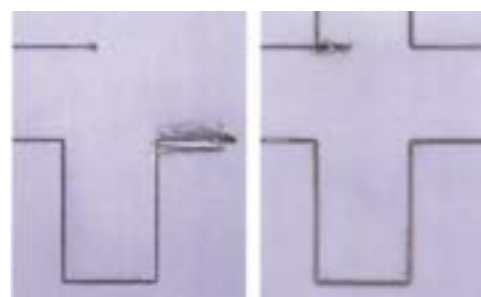
Rys. 7.35 Przebieg cięcia laserem

Głowica porusza się ze ściśle określona prędkością. Jest ona dobrane tak aby przy dzięki energii dostarczonej przez wiązkę lasera było możliwe stopienie, częściowe odparowanie metalu i usunięcie resztek zgorzeliny. Dodatkowo pomaga w tym gaz tnący. Jeśli jest to tlen to temperatura płomienia lasera jest zwiększana co ułatwia cięcie. Są tu jednak pewne ograniczenia. Jeśli materiał jest odporny na utlenianie (stal kwasoodporna, aluminium) to powstaje pasywna warstwa tlenków utrudniająca proces i pogarszająca jakość powierzchni cięcia. Receptą na to jest azot, który nie wchodzi w reakcje nawet ze stopionym metalem. Przedmuchiwa on szczelinę a nawet ją studzi. Aby więc spełnić swoją rolę musi być podawany pod bardzo dużym ciśnieniem.



Rys. 7.36 Głowica nad powierzchnią blachy

Głowica musi również zachowywać stałą wysokość w stosunku do detalu. Do jej kontroli stosuje się metodę pojemnościową, która polega na mierzeniu przewodności między głowicą a detalem. Wartość wysokości system odczytuje ze specjalnego wykresu. Jest on tworzony przez operatora, lub automatycznie przy tzw. skalowaniu. Robi się to poprzez uruchomienie specjalnego programu, który ustawia głowicę na ściśle określonej wysokości i zapisuje wartość przewodności, która jej odpowiada.



Rys. 7.37 Problemy z plazmą

Problemem, który czasem się pojawia, jest tworzenie się plazmy na skutek jonizacji gazu wydmuchiwanego z dyszy. Następuje wtedy gwałtowny wzrost przewodności i głowica odjeżdża do góry co zakłóca cięcie. Obecnie stosuje się detektory plazmy, które w takim przypadku przerywają cięcie i automatycznie cofają głowicę tak aby zachować właściwą linię cięcia. Na rysunku po lewej stronie widać przerwane cięcie na skutek pojawienia się plazmy, na rysunku z prawej strony widać, że cięcie zostało wznowione mimo pojawienia się plazmy.

7.4.5 Parametry technologiczne cięcia

W poprzednim rozdziale poznaliśmy ogólny zarys technologii cięcia. O jakości cięcia decydują odpowiednio parametry. Są one dobierane w zależności od:

Rodzaju materiału	(gaz roboczy, położenie ogniskowej).
Grubości	(moc, prędkość, ogniskowa, położenie ogniskowej).
Jakość powierzchni	(gaz roboczy, moc, prędkość, położenie ogniskowej).
Geometrii detalu	(tryb pracy lasera, moc, gaz roboczy, położenie ogniskowej).

Do najważniejszych parametrów technologicznych cięcia zaliczamy

1. Moc i tryb pracy lasera.
2. Prędkość cięcia.
3. Rodzaj i ciśnienie gazu tnącego.
4. Ogniskowa soczewki.
5. Pozycja ogniskowej.
6. Średnica dyszy.

Moc

Laser może pracować w dwóch różnych trybach



Rys. 7.38 Tryb ciągły pracy lasera CW (z lewej)

Rys. 7.39 Tryb pulsacyjny pracy lasera GP (z prawej)

Przy pracy ciągłej przekazywana moc ma stałą wartość. W trybie pulsacyjnym źródła jest włączane i wyłączane. Aby przekazać do cięcia tą samą wartość energii P_a poszczególne impulsy muszą mieć większą wartość gdyż pojawiają się tutaj chwile kiedy ich wartość jest równa zero. Ten sposób pracy pozwala na znaczne zmniejszenie strefy w której materiał jest nagrzany co wpływa na poprawę jakości cięcia.

Kiedy moc jest zbyt duża na powierzchni cięcia powstają duże wżery i jest ona niejednolita.



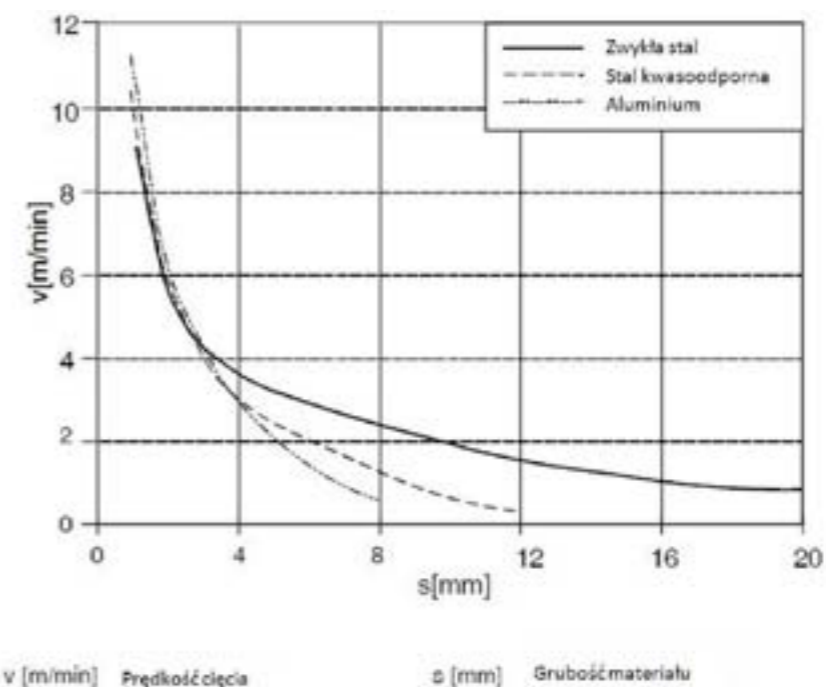
Rys 7.40 Zbyt duża moc

Z regulacją dostarczonej mocy związany jest również parametr **obciążenie** (duty – cycle). Określa go wzór $Q = (A/B) * 100\%$. Reguluje on gęstość dostarczonej mocy i zmniejszanie go pozwala na „łagodniejsze” cięcie w miejscach w których nie chcemy przegrzewać detalu. Warto zauważyć, że przy $Q = 100\%$ laser pracuje w trybie ciągłym. W niektórych typach lasera nie podlega on regulacji i jest ustawiony na stałe. W tym przypadku zmniejszamy nagrzanie detalu poprzez zmniejszenia **częstotliwości**. Zwiększa to wartość okresu

B powodując dłuższe przerwy w pracy lasera. Odbywa się to jednak kosztem jakości powierzchni i znacznego obniżenia prędkości cięcia.

Prędkość

Prędkość cięcia musi być odpowiednio dobrana do gatunku materiału i grubości. Jeśli jest niewłaściwa wpływa bardzo negatywnie na jakość powierzchni i jest przyczyną powstawania wżerów i dużego gratu.



Wykres 1 Zmiana prędkości cięcia w zależności od grubości dla lasera 4 kW

Właściwą prędkość można ocenić w praktyce obserwując kształt wiązki po przepaleniu arkusza (należy robić to w okularach spawacza). Jeśli jest prostopadła – prędkość zbyt mała, jeśli pod większym kątem – zbyt duża. Wiązka z właściwie dobraną prędkością powinna być lekko pochylona. Można to zaobserwować na przeciętej powierzchni na której podczas cięcia powstają prążki.



Rys. 7.41 Dobra prędkość (od lewej)

Rys. 7.42 106 Za wolno

Rys. 7.43 107 Za szybko

Przy właściwej prędkości prążki są niewielkie lekko pochylone. Jeśli tniemy zbyt wolno są głębsze i pionowe. Przy zbyt dużej prędkości prążki są cienkie i mocno pochylone szczególnie w dolnej części.

Rodzaj i ciśnienie gazu tnącego

Podczas cięcia laserem w laserowej wiązce stosuje się gazy. Poniżej przedstawiono w tabelce dobór gazów w zależności od rodzaju materiału. W przypadku cięcia zwykłej stali stosuje się najczęściej tlen. Materiały niemetaliczne tnie się azotem lub powietrzem. Wycinanie laserowe wykorzystuje tlen jako gaz tnący i mówi się tu o procesie egzotermicznym. Dzięki gazowi dostarczone jest 40% energii, pozostałe 60% dostarcza promień lasera. Przy cięciu laserem za pomocą tlenu jako gazu tnącego stosuje się ciśnienie pomiędzy 6 a 20 barów, a zależy to od rodzaju ciętego materiału, np. brąz ciąć się będzie przy ciśnieniu wynoszącym

20 barów. Jeśli zależy nam na czystej, nie utlenionej powierzchni cięcia stosujemy azot, który pełni zarówno rolę osłony jak i czynnika wydmuchującego stopiony metal ze szczeliny. W praktyce dotyczy to głównie cięcia stali kwasoodpornych.

Tabela 5 Rodzaje gazów tnących i ich zastosowanie

Gaz	Stale C-Mn	Stale wysokostopowe	Stale kwasoodporne	Aluminium	Stopy Ni	Stopy Ti
O ₂	Zalecany	Możliwy				
O ₂ Wysokie ciśnienie	Zalecany	Możliwy	Możliwy			
N ₂	Możliwy		Zalecany	Zalecany	Zalecany	Zalecany
Ar						Zalecany

Odpowiednie dobranie gazu tnącego ma duży wpływ na wydajność i jakość procesu cicia. Gaz ten dodatkowo pełni rolę środka chłodzącego soczewkę. W przypadku kiedy nie zależy nam na jakości powierzchni można stosować również oczyszczone powietrze, które jest zdecydowanie najtańsze. Ważnym parametrem jest również ciśnienie gazu. Zbyt duże powoduje powstawanie głębszych, płynących prążków.



Rys. 7.44 Ciśnienie za duże (z lewej)

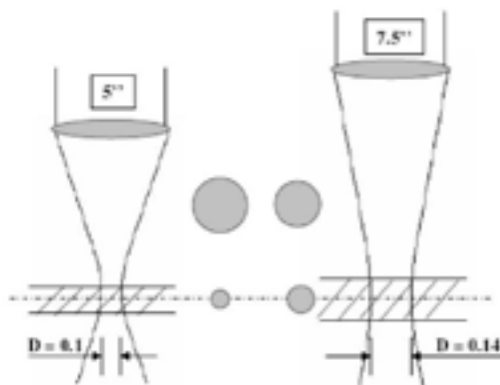


Rys. 7.45 Ciśnienie za małe (z prawej)

Ogniskowa soczewki

W głowicach tnących stosuje się soczewki o różnych ogniskowych. Najczęściej podawane są one w calach. Wielkość ogniskowej ma wpływ szereg parametrów cięcia. Im większa ogniskowa tym większa szczelina. Dla grubych materiałów stosuje się najczęściej soczewki 7.5", 9". Przy cięciu laserem krawędzie nie są idealnie prostopadłe do powierzchni. Większe ogniskowe pozwalają zmniejszyć ten problem gdyż wiązka promieni jest tu bardziej równoległa.

Na rysunku przedstawiono dla porównania dwie soczewki o różnych ogniskowych. Wiązka wychodząca z 5" jest bardziej „zastrzona” co pozwala uzyskać większe skupienie mocy. Promienie wychodzące z 7" są skupione do punktu o trochę większej średnicy ale za to dają mniejszy kąt pochylenia ścianek w wycinanym materiale.



Rys. 7.46 Porównanie ogniskowych

Dla cienkich (do 3 mm) używamy 3.75" i 5"co pozwala zwiększyć prędkość pracy. Obecnie pojawiły się głowice o nowej konstrukcji pozwalającej ciąć wszystkie grubości bez konieczności wymiany soczewek.

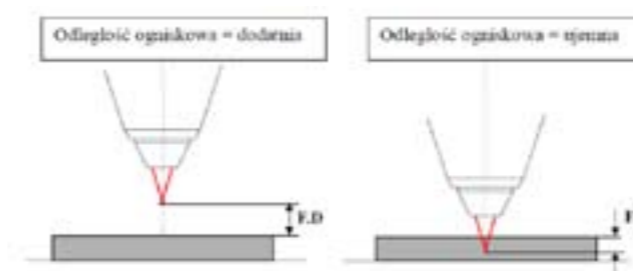
Tabela 6 Dobór właściwej ogniskowej

Ogniskowa	Prędkość cięcia	Szczelina cięcia	Grubość materiału	Średnica przepalenia	Kąt pochylenia krawędzi cięcia
↑	↓	↑	↑	↑	↓

Pozycja ogniskowej

Położenie ogniska (punktu największego skupienia strumienia lasera) jest ważnym parametrem sterującym gęstością wiązki tnącej. Odpowiada przede wszystkim za grat i jakość przepaleń. Jest też w ścisłym związku z prędkością cięcia.

Cienkie blachy, ze zwykłych stali, tnimy maksymalnym skupieniem na powierzchni. Pozwala to na użycie największych prędkości i daje bardzo małą szczelinę cicia. Kwasoodporne stale z powodu gratu tnimy z położeniem poniżej powierzchni. Cięcie grubych blach wymaga większej szczeliny gdyż jest dużo materiału do usunięcia.

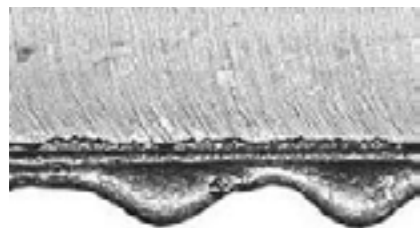


Rys. 7.47 Położenie ogniskowej

Tabela 7 Położenie ogniskowej w zależności od gatunku materiału

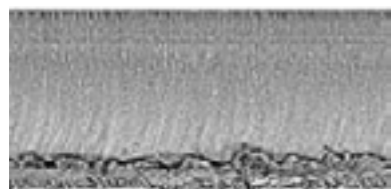
Materiał	Przepalenie	Cięcie
Stal zwykła (O ₂)	Blacha cienka: FD = 0 Blacha gruba: FD = -	Blacha cienka: FD = 0 (prędkość maksymalna) Blacha gruba: FD = + (większa szczelina cicia)
Stal kwasoodporna (N ₂)	Blacha cienka: FD = - Blacha gruba: FD = 0	Blacha cienka: FD = - (w połowie grubości co pozwala uniknąć ostrego gratu)
ALMG3 (N ₂)	Blacha cienka: FD = - Blacha gruba: FD = 0	Blacha cienka: FD = - (w połowie grubości)

Ogniskowa jest położona za wysoko. Na dole pojawia się trudno usuwalny grat.



Rys. 7.48 Ogniskowa jest ustawiona za wysoko

Obniżenie ogniskowej zmniejsza grat zamieniając w drobniejszy, który łatwiej usunąć.



Rys. 7.49 Poprawione położenie ogniskowej

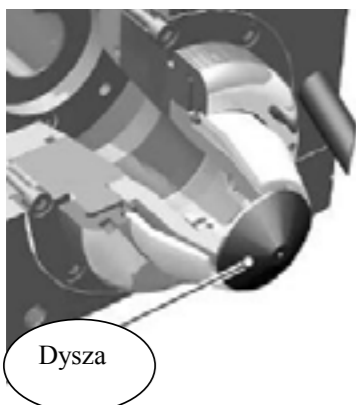
Zbyt duże obniżenie ogniskowej powoduje powstanie w górnej części próbki wyraźnej granicy dzielącej przekrój. Nie ma on wtedy jednolitej struktury.



Rys. 7.50 Położenie ogniskowej zbyt niskie

Średnica dyszy

Każda głowica tnąca zakończona jest dyszą. To przez nią jest kształtowana wiązka gazu tnącego. W zależności od konstrukcji głowice może mieć różne kształty ale najważniejszym jej parametrem jest średnica otworu. Dysze 0.8 używa się dla cienkich blach do ok. 4mm. Dla grubych powyżej 15mm zalecane są już 2–2.3. Średnica dyszy ma wpływ na szerokość szczeliny cięcia a także na wielkość otworu przy wpalaniu się w materiał.



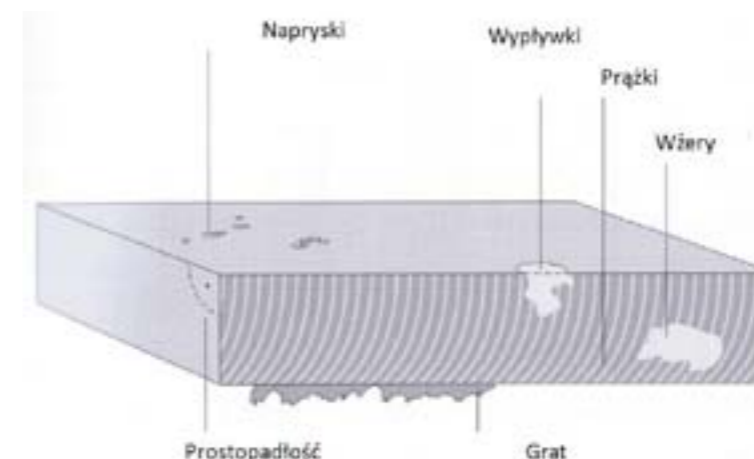
Rys. 7.51 Dysza (z lewej)



Rys. 7.52 Różne kształty dysz (z prawej)

Wpływ parametrów technologicznych na jakość cięcia.

Na rysunku przedstawiono najważniejsze elementy oceny jakości cięcia.



Rys. 7.53 Kryteria oceny jakości cięcia

Napryski powstają najczęściej przy zbyt gwałtownym przepaleniu. Często są jednak trudne do uniknięcia szczególnie przy szybkim cięciu. Dla łatwiejszego ich usunięcia można stosować takie same środki jakie są używane do ochrony powierzchni spawanych. Brak **prostopadłość** zaczyna być zauważalny przy grubszych blachach. Błąd ten zmniejszamy stosując soczewkę o większej ogniskowej lub zmniejszając prędkość. **Prążki** pozwalają ocenić właściwą prędkość (patrz rozdział Prędkość). Zbyt głębokie mogą być wynikiem nadmiernego ciśnienia gazu. Obecność **wypłytki** świadczy o braku przelotowości szczeliny cięcia gdyż tylko z tego powodu ciekły metal może wypłynąć do góry wbrew wydmuchującego go gazu. Jeśli widzimy wypływkę należy wzmocnić „siłę” zmniejszając prędkość, ciśnienie gazu lub dodając mocy. **Grat** najczęściej jest wynikiem złego położenia punktu skupienia. **Wżery** pojawiają się przy zbyt dużej mocy w stosunku do prędkości cięcia. W zasadzie wszystkie opisane parametry są ze sobą związane. Przy regulacji należy więc uwzględniać ich wzajemną współzależność.

Tabele technologiczne

Tabele technologiczne zawierają parametry (np. prędkość, moc, ciśnienie i rodzaj gazu) używane w czasie cięcia. Dobierane są one na podstawie danych materiału – grubość, gatunek oraz metod które uwzględniają własności geometrii ciętego detalu. Pozwala to na stosowanie różnych zestawów parametrów dla cięcia dużych konturów (maksymalna prędkość, maksymalna moc) i małych konturów (konieczność minimalizowana strefy nagrzania) nawet jeśli są one wykonywane z tej samej blachy. Zarys detalu też ma znaczenie. Zdecydowanie większe przegrzanie następuje w czubkach ostro zakończonych krawędzi, nawet jeśli są one częścią dużego konturu. Należy wtedy stosować „delikatniejsze” parametry.

Tabela lasera	T2D-5106	Moc lasera		4000 W
Grupa	TC8	Materiał		St37-50
Ogniskowa soczewki	7,5 Zoll	Grubość materiału		5,00mm
Uwagi	St37 5.0mm 4000W 7.5Z 02 TC8 Standard			
	Kontury cięcia			
Rodzaj konturu		Mały kontur		Duży kontur
Szczelina cięcia	mm	0,35		0,40
Nastawa	mm	-1,20		-1,20
Tryb		Normalny	Zredukowany	Normalny
Moc	W	500,0	500,0	3600,00
Częstotliwość pulsowania	[Hz]	100,0	100,0	10000,00
Prędkość	m/min	0,3	0,2	3,40
Wysokość dyszy	mm	1,0	1,0	1,20
Ciśnienie gazu	bar	3,0	3,0	0,80
				-1,00

Tabela 8 Przykładowa tabela z parametrami technologicznym stosowana w wycinarkach laserowych firmy Trumpf (fragment)



Ogniskowa soczewki	Podawana jest w calach. Jej rola opisana została w rozdziale „Ogniskowa soczewki”
Uwagi	Zawarty jest tu skrócony opis tabeli. St37 – gatunek materiału, 5.0mm – grubość, 4000W – maksymalna moc rezonatora, 7.5Z – ogniskowa 7.5”, O2 – tlen jako gaz tnący, TC8 – oznaczenie typu maszyny, Standard – używane jest tu standardowe ciśnienie do 10 ba.
Rodzaj konturu	Rozróżniamy dwa podstawowe kontury. Mały i duży. Czasami definiowany jest jeszcze średni. Taki podział jest potrzebny aby móc przyporządkować dla nich różne zestawy parametrów. Jest to konieczne z uwagi na duże różnice w warunkach pracy przy różnych konturach. Małe wymagają minimalizowanie stref nagrzania materiału, duże pozwalają na stosowanie maksymalnych prędkości i mocy. Najczęstszym kryterium podziału jest powierzchnia, ale czasem programista musi dokonywać korekt ręcznie.
Szczelina ciecicia	Szerokość szczeliny po przejściu wiązki lasera.
Nastawa	Ten parametr związany jest z położeniem ogniskowej. Określa on wartość ustawianą ręcznie przez operatora położenia soczewki w głowice tnącej. Niektórzy producenci nazywają go położeniem ogniskowej. W praktyce, w nowszych typach wycinarek pozycja punktu skupienia w stosunku do powierzchni ciętego materiału zmienia się w czasie cięcia. Ograniczony jest jednak zakres automatycznej regulacji. Nastawa jest więc taką wartością, która umożliwia sterowaniu osiągnięcie wszystkich potrzebnych położeni ogniskowej używanych w procesie cięcia. Znaczenie tego parametru przedstawiono w rozdziale „Położenie ogniskowej”.
Tryb pracy	Normalny – maksymalne parametry, zredukowany jest używany przy szczególnie trudnych miejscach np. małych promieniach zaokrąglenia, czy ostrych krawędzi. Używa się wtedy delikatniejszych zestawów zmniejszających przegrzanie i pozwalających na większe odparowanie topionego materiału.
Moc	Określona jest tu wielkość mocy dostarczanej przez wiązkę. Czasem podawana procentowo w stosunku do mocy maksymalnej rezonatora.
Częstotliwość pulsowania	Sposób podawania mocy. Opisany został w rozdziale „Moc”.
Prędkość	Prędkość z jaką porusza się głowica tnąca. Parametr opisany w rozdziale „Prędkość”. Może być regulowany płynnie z pulpitu sterowania maszyny.
Wysokość dyszy	Podana jest tutaj odległość dyszy (dolna część głowicy tnącej) od materiału z jaką porusza się ona w czasie cięcia.
Ciśnienie gazu	Ciśnienie gazu tnącego. Parametr opisany w rozdziale „Rodzaj i ciśnienie gazu tnącego”. Może być regulowany płynnie z pulpitu sterowania maszyny.

Przedstawione tutaj parametry dotyczą głównie cięcia. Każda tabela zawiera również inne zestawy danych, np. do znakowania (grawerowania promieniem lasera). Różnią się one jednak tylko wartościami parametrów.

Nazwa metody	RZ-5106-5P	Ciśnienie gazu	Wysokie	
Materiał	S-235	INFORMACJE		
Grubość	5.00 mm	PCS: zaokrąglenia, znakowanie, Sprint Las		
Przeгляд opcji				
Powierzchnia [mm ²]	Min.	Maks	Min.	Maks.
	4,9	28,26	28,26	99999,99
Kontur	Mały kontur		Duży kontur	
Pozycjonowanie	TAK		TAK	
Odparowanie	NIE		NIE	
Wpalanie	TAK		TAK	
Najazd	TAK		TAK	
Cięcie	TAK		TAK	
Zaokrąglenie	TAK		TAK	
Pętla	NIE		NIE	
Rodzaj wpalania	Zredukowany		Normalny	
Cykl porniarowy	TAK		TAK	
Średnica wpalania	0,2		1,3	

Tabela 9 Tabela przykładowych metod używanych w wycinarkach firmy Trumpf

Informacje	Przedstawiony jest skrócony opis zawartych opcji. PCS – system kontroli przepaleń. Polega on na precyzyjnej zmianie parametrów procesu. System potrafi również rozpoznać moment kiedy wiązka przebiła się już przez materiał. Zaokrąglenia – sposób przebiegu ścieżki na ostro zakończonych krawędziach. Znakowanie ta metoda dopuszcza znakowanie (grawerowanie promieniem lasera). Sprint Las – specjalna metoda przyspieszająca cięcie. Przejścia głowicy (ruch pomocniczy) pomiędzy konturami odbywają się na małej wysokości bez kontroli wysokości. Źródło lasera nie jest wyłączane tylko minimalizowana jest moc. Po najechaniu na miejsce, gdzie będzie wycinany kontur, jej wartość jest ponownie zwiększana. Przyspiesza to znacznie wycinanie detali gdzie jest dużo otworów.
Powierzchnia	Podane są tutaj granice przedziałów będące kryteriami podziału konturów na małe i duże.
Pozycjonowanie	Zatrzymanie głowicy nad konturem.
Odparowanie	Odparowanie folii. Dla uniknięcia porysowania powierzchni blachy stosuje się czasem ochronę ze specjalnej folii. Jest ona naklejona na powierzchnię blachy. Stosowane jest to głównie przy stalach kwasoodpornych, które najczęściej nie są już malowane i każda ryska jest widoczna. Folia przeszkadza w cięciu. Włączenie tej opcji powoduje to, że głowicy przejeżdża najpierw po konturze na większej wysokości z małą mocą. Materiał nie jest przecinany tylko podmuch gorącego gazu wytapia wąską ścieżkę. Drugi przejazd po konturze to już jest cięcie ale wzdłuż wytopionego poprzednio w folii zarysu.

Wpalanie	Cięcie zaczyna się od przepalenia na wylot otworu	
Najazd	Po przepaleniu, które odbywa się poza konturem głowica najeżdża na właściwą drogę cięcia.	
Cięcie	Jest możliwe cięcia	
Zaokrąglenie	Ostre krawędzie są zaokrąglane w celu uniknięcia ich nadtopienie i utrzymania lepszej płynności ruchu głowicy.	
Pętla	Dla uniknięcia nadtopienia ostrych krawędzi głowica wykonuje pętlę co pozwala zachować jej płynność ruchu.	
Rodzaj wpalania	Rodzaj wpalenia. Zredukowany – delikatny. Normalny – szybki gwałtowny	
Cykl pomiarowy	Kontrola wysokości głowicy w czasie wpalania	
Średnica wpalenia	Średnica otworu powstałego po przepaleniu blachy.	

7.5 Elementy pracy operatora

Trudno jest tutaj przedstawić instrukcje obsługi wycinarki laserowej. Istnieje wielu różnych typów tych maszyn, które wymagają różnej obsługi. Poniżej przedstawiono te elementy pracy z którymi operator spotka się niezależnie od rodzaju wycinarki.

Przygotowanie maszyny do pracy wymaga:

- Włączenie dopływu gazów tnących i gazów laserowych (lasery CO₂). UWAGA Hel odkręca się jako ostatni. Należy również skontrolować cieniowanie. Postępować zgodnie z instrukcją maszyny.
- Włączenie zasilania.
- Ustawienie osi pracy maszyny.
- Włączenie generatora.
- Przygotowanie do wykonania programu.
- Wczytanie właściwego programu na podstawie dokumentacji technologicznej.
- Przygotowanie maszyny do wykonania programu.
- Założenie właściwej głowicy.
- Założenie dyszy o odpowiedniej średnicy.
- Kontrola położenia wiązki. W razie potrzeb – regulacja. Prawidłowe ustawienie zapewnia jednakową jakość cięcia we wszystkich kierunkach. Robi się to zgodnie z instrukcją obsługi maszyny.
- Jeśli nie ma opcji automatycznego skalowania wysokości należy co jakiś czas (określony w instrukcji) wykonać procedurę skalowania. Zapewnia ona utrzymanie prawidłowej wysokości położenia głowicy nad powierzchnią blachy. Jest to bardzo ważne dla uzyskania prawidłowej jakości. Procedura jest opisana w instrukcji obsługi maszyny.
- Załadunek arkusza blachy.

Wykonanie detali:

- Uruchomienie programu.
- Kontrola jakości cięcia i ewentualna korekta parametrów cięcia.
- Kontrola zgodności wycinanego detalu z rysunkiem konstrukcyjnym.
- Kontrola zachowania detali w czasie cięcia. Szczególną uwagę należy zwracać na przekręcania się detali (te o małych wymiarach mogą być podparte tylko w jednym punkcie). Długie i wąskie często wyginają się pod wpływem nagrzania. Wszystko to może spowodować kolizję z głowicą tnącą co zagraża poważną awarią. Dla zabezpieczenia się przed stosuje się niedocięcia.
- Wymiana stołu po zakończeniu cięcia.
- Zdjęcie detali i ułożenie ich w pojemnikach wraz z kartami identyfikacyjnymi.

Czynności zakończeniowe:

- Wyłączenie rezonatora. W niektórych typach jest to połączone z podniesieniem ciśnienia gazów w rezonatorze. Zabezpiecza to przed zanieczyszczeniem zewnętrznym. Przy włączaniu ciśnienie jest obniżane.
- Wyłączenie zasilania.
- Posprzątanie stanowiska pracy.

7.6 LITERATURA

1. Bending Technology, LVD, 2004.
2. Gabriela Buchnik „Fascination of sheet metal”, Vogel Buchverlag, Würzug, wydanie pierwsze 2006.
3. Gabriela Buchnik „Fascination of sheet metal”, Vogel Buchverlag, Würzug, wydanie pierwsze 2006.
4. Gabriela Buchnik „The laser as a tool”, Vogel Buchverlag, Würzug, wydanie pierwsze 2007.
5. Grzegorz Nikiel: Programowanie obrabiarek CNC na przykładzie układu sterowania Sinumerik 810D/840D Bielsko-Biała 2004.
6. <http://cnc.pl/budowa-funkcje-cnc.php>.
7. <http://cnc.pl/zespoly-obrabiarek-cnc.php>.
8. <http://netspaw.pl/ciecie-plazma-przewodnik-po-technologie,38.html>.
9. <http://technologia.laserowa.republika.pl/>.
10. <http://technologia.laserowa.republika.pl/spawanie.html#glowica>.
11. http://www.eurometal.com.pl/_pd,pl/88,212/Pionowe_centra_obr%C3%B3bce_seria_VL-VH.html.
12. <http://www.hoffmann-group.com/pl/kompetencja-producenta/garant-wyposazenie-warsztatow.html>.
13. <http://www.mazaklaser.pl/?prasy-krawedziowe,51>.
14. <http://www.messer.pl>.
15. http://www.polsver.pl/index.php?strona=oferta&id_kat=1&id_prod=4&id_producenta=2.
16. <http://www.techjet.eu/produkt/pompa-wp7540>.
17. <http://www.techjet.eu/waterjet/technologie>.
18. <http://www.wycinanielaserowe.com/gazy-uzywane-do-ciecia-laserem>.
19. Jan Szadkowski, Roman Stryczek, Grzegorz Nikiel: projektowanie procesów technologicznych na obrabiarki sterowane numerycznie bielsko-biała 1995.
20. Katalog für Anwendungsbeispiele Trimpf Maschinen Austria GesmbH & Co. KG, 05/2007.
21. Katalog Garant Poradnik obróbki skrawaniem.
22. Marek Gawrysiak: Mechatronika i projektowanie mechatroniczne. Wprowadzenie. Białystok 1997.
23. Marek Staszyński: Poziome centra obróbcze sterowane Numerycznie. Projektowanie i Konstrukcje Inżynierskie wrzesień 2008 www.konstrukcjeinzynierskie.pl.
24. Morecki, J. Knapczyk: Podstawy robotyki. Teoria i elementy manipulatorów i robotów. WNT Warszawa 1999.
25. Ryszard Markiewicz: Podstawy mechatroniki – istota mechatroniki. <http://wloscianska.strefa.pl/download/podstawy%20mechatroniki.pdf>.
26. SINUMERIK 840D/840Di/810D – Podstawy. Instrukcja programowania Dokumentacja użytkownika. Wydanie 03.04.
27. THE ABC OF BENDING TOOLS, Amada, Maschinist Publishing, Japan, 1986.
28. Witold Habrat: Obsługa i programowanie obrabiarek CNC. Podręcznik operatora. Wadawnictwo „KaBe” Krosno 2007.
29. www.amada.co.uk.
30. www.ciri.org.nz/bendworks/bending.pdf.
31. www.dvcplanners.com/sheetmetalbook/dvcbasiclayout-page18.pdf.
32. Wypalanie laserowe –Technologia, LVD Strippit, wersja polska, Marzec 2004.
33. Zasada M.: Wprowadzenie do obrabiarek sterowanych numerycznie, Szczecin 2004.