

WPROWADZENIE DO TECHNIKI

POD REDAKCJĄ
RYSZARDA GRĄDZKIEGO



WPROWADZENIE DO TECHNIKI

POD REDAKCJĄ

RYSZARDA GRĄDZKIEGO

POLITECHNIKA ŁÓDZKA

PODRĘCZNIKI AKADEMICKIE

Recenzenci:

prof. dr hab. inż. Zbigniew Kołakowski
prof. dr hab. inż. Tadeusz Niezgodziński

Redaktor Naukowy Wydziału Organizacji i Zarządzania
prof. dr hab. inż. Jerzy Lewandowski

Autorzy rozdziałów:

1. *Marianna Kazimierska-Grębosz*
2. *Marianna Kazimierska-Grębosz, Ryszard Grądzki*
3. *Andrzej Masiarek*
4. *Grzegorz Bogustawski*
5. *Jacek Gralewski*
6. *Andrzej Masiarek*
7. *Andrzej Marcinkowski*

© Copyright by Politechnika Łódzka 2016

WYDAWNICTWO POLITECHNIKI ŁÓDZKIEJ

90-924 Łódź, ul. Wólczańska 223

tel. 42 631 29 52, 42 631-20-87

fax 42 631-25-38

e-mail: zamowienia@info.p.lodz.pl

www.wydawnictwa.p.lodz.pl

ISBN 978-83-7283-790-5

Nakład 70 egz. Ark druk 11,0. Papier offset. 80 g 70 x 100

Druk ukończono w grudniu 2016 r.

Wykonano w Drukarni Quick-Druk, 90-562 Łódź, ul. Łąkowa 11

Nr 2195

SPIS TREŚCI

1. PODSTAWOWE POJĘCIA I WIELKOŚCI STOSOWANE W TECHNICIE	5
1.1. Podstawowe pojęcia i definicje	5
1.1.1. Wiedza, nauka i technika	5
1.1.2. Klasyfikacja nauk technicznych	7
1.2. Cechy charakteryzujące dobrego inżyniera	9
1.3. Proces w technice. Maszyna	11
1.4. Jednostki miar stosowane w technice	14
1.4.1. Powstanie układu jednostek miar SI	14
1.4.2. Jednostki miar układu SI	15
1.4.3. Jednostki pochodne układu SI	16
2. ELEMENTY MECHANIKI I WYTRZYMAŁOŚCI MATERIAŁÓW	19
2.1. Podstawowe pojęcia mechaniki	19
2.2. Statyka	19
2.2.1. Rodzaje tarcia	23
2.3. Kinematyka	24
2.3.1. Ruch punktu	24
2.3.2. Ruch ciała sztywnego	26
2.4. Dynamika	29
2.4.1. Równania ruchu punktu materialnego	29
2.4.2. Równania ruchu ciała materialnego	31
2.4.3. Pęd i kręt punktu materialnego i układu punktów materialnych	33
2.4.4. Praca siły i moc siły	34
2.4.5. Energia kinetyczna	36
2.5. Elementy wytrzymałości materiałów	37
2.6. Rozciąganie i ściskanie	38
2.6.1. Prawo Hooke'a	39
2.6.2. Wykres rozciągania	40
2.6.3. Naprężenia dopuszczalne	44
2.7. Skręcanie	45
2.8. Momenty bezwładności figur płaskich	47
2.9. Zginanie płaskie	49
2.9.1. Siły wewnętrzne w belce zginanej	49
2.9.2. Związek między siłą tnącą T i momentem gnącym M_g oraz obciążeniem ciągłym q	51
2.9.3. Naprężenia przy zginaniu. Warunek wytrzymałościowy	52
2.10. Linia ugięcia belek	53
2.11. Wytrzymałość złożona	54

3. WYBRANE ZAGADNIENIA PROJEKTOWO-KONSTRUKCYJNE	57
3.1. Elementy maszyn	57
3.2. Zasady konstruowania	61
3.3. Dokumentacja konstrukcyjna	66
4. WPROWADZANIE DO MATERIAŁOZNAWSTWA	71
4.1. Znaczenie i priorytety przy wyborze materiałów	71
4.2. Struktura materiałów	71
4.3. Materiały metaliczne	74
4.4. Materiały ceramiczne	95
4.5. Polimery	97
4.6. Kompozyty	100
4.7. Obróbka cieplna i cieplno-chemiczna	101
5. TECHNIKA WYTWARZANIA	109
5.1. Technika wytwarzania - definicje	109
5.2. Odlewanie	110
5.3. Obróbka plastyczna	113
5.4. Obróbka skrawaniem	117
5.5. Przetwórstwo tworzyw sztucznych	120
5.6. Technika łączenia materiałów	122
5.7. Obróbki wykańczające	126
5.8. Obróbki specjalne	129
5.9. Techniki przyrostowe	132
6. PRZYGOTOWANIE PROCESU TECHNOLOGICZNEGO	136
6.1. Pojęcia i definicje związane z organizacją procesu technologicznego	136
6.2. Dokumentacja technologiczna	137
6.3. Bazy obróbkowe	139
6.4. Etapy opracowania procesu technologicznego	141
6.5. Tolerancje i pasowania	142
6.6. Technologia montażu części maszyn	144
6.7. Metodyka projektowania procesu technologicznego montażu	145
7. TECHNIKA A ŚRODOWISKO	149
7.1. Wstęp	149
7.2. Przyczyny i skutki degradacji środowiska naturalnego	150
7.2.1. Zakwaszenie środowiska	152
7.2.2. Efekt cieplarniany	155
7.3. Degradacja wody	160
7.4. Podsumowanie	167

1. PODSTAWOWE POJĘCIA I WIELKOŚCI STOSOWANE W TECHNICIE

1.1. Podstawowe pojęcia i definicje

1.1.1. Wiedza, nauka i technika

Technika zawsze odgrywała dużą rolę w gospodarce krajów i życiu społecznym. Obecnie nastąpił gwałtowny wzrost tej roli, kraje wysoko uprzemysłowione bazują na technice.

Technika (gr. *techne* – sztuka, umiejętność) jest to dział cywilizacji i kultury obejmujący środki pracy i techniczne umiejętności produkcji, umożliwiające człowiekowi celową działalność gospodarczą i opanowanie przyrody, a także reguły posługiwania się nimi. Tak zdefiniowany termin technika rozumiany jest w dwóch podstawowych znaczeniach jako:

- tworzone przez człowieka środki materialne i składające się na wiedzę techniczną reguły posługiwania się tymi środkami oraz projekty stosowane dla zdobywania, przekształcania i wykorzystywania dóbr materialnych,
- umiejętność i sposób wykonywania określonych czynności pozwalających na opanowanie kunsztu w dziedzinach takich jak sztuka, sport itp. (technika gry na skrzypcach, malowanie obrazów) [1].

Technika jest ściśle związana z produkcją, można zatem przyjąć, że jest to usystematyzowana wiedza o przedmiotach wytwarzanych przez człowieka i metodach ich wytwarzania.

Technika obejmuje:

- materiały, z których wykonywane są przedmioty,
- narzędzia, maszyny, procesy i umiejętności związane z ich wytwarzaniem.

Technikę można podzielić, biorąc pod uwagę dziedzinę zastosowań, na np.: technikę chemiczną, technikę budowy maszyn, technikę górniczą, itp. [4].

Wraz z rozwojem i postępowaniem nauki nastąpiło rozszerzenie pojęcia techniki na:

- nauki techniczne, jak np. maszynoznawstwo, wiedzę o sposobach przetwarzania surowców i wytwarzania wyrobów, czyli technologię, np. technologia budowy maszyn,
- nauki wspomagające technikę, np. fizyka techniczna [2].

Technika oddziałuje na wszystkie dziedziny życia człowieka, ułatwia i przekształca jego styl życia, wprowadza również wiele zagrożeń dla człowieka i środowiska.

Rozwojowi techniki towarzyszą niebezpieczeństwa [2, 5]:

- degradacja środowiska naturalnego,
- możliwość wykorzystania osiągnięć techniki do celów wojennych,
- ścisły podział pracy, zmuszający robotnika do wykonywania monotonnych czynności, co wpływa negatywnie na jego osobowość,
- eliminacja robotnika z toku procesów produkcyjnych,
- wyobcowanie człowieka, zwiększenie uczucia niepewności.

Zagrożenia te zwiększają się wraz ze zwiększeniem tempa rozwoju techniki. Obecnie, gdy obserwujemy dynamiczny rozwój techniki, jesteśmy zalewani zwiększoną ilością informacji i produktów, co utrudnia akceptację zmian. Pojawia się tak zwane zmęczenie cywilizacją.

Technice zawdzięczamy jednak więcej dobrego niż stwarzane przez nią zagrożenia. Dzięki rozwojowi techniki mamy współczesny, wysoko uprzemysłowiony świat, w którym żyjemy. Technika ułatwia i ulepsza nam codzienne życie oraz służy również do naprawiania środowiska, które rozwój tejże techniki zdegradował.

Wiedza to szeroko pojęty ogół wiadomości zgromadzonych w umyśle człowieka i umiejętność ich wykorzystania w wyniku sumowania się doświadczeń oraz uczenia się obejmujący wszystkie formy świadomości społecznej. W takim ujęciu na wiedzę składa się każdy typ myślenia – od wyobrażeń do twierdzeń naukowych [3].

Rozróżnia się dwa rodzaje wiedzy:

- praktyczną, opartą na doświadczeniu,
- teoretyczną, opisującą poszczególne aspekty rzeczywistości.

Wiedza, której przedmiotem badań jest technika, to **inżynieria**.

Nauka to działalność społeczna mająca na celu obiektywne i adekwatne poznanie rzeczywistości wyrastające z potrzeby jej opanowania i przekształcenia przez człowieka. Nauki dzieli się na cztery grupy w zależności od przyjętych kryteriów.

Biorąc pod uwagę kryterium zakresu badań, nauki dzieli się na cztery główne grupy:

- nauki ścisłe (matematyka, logika i pochodne),
- nauki przyrodnicze, czyli nauki zajmujące się światem zewnętrznym w stosunku do człowieka (fizyka, chemia, biologia, nauki o Ziemi),
- nauki humanistyczne – zajmujące się człowiekiem i jego wytworami (historia i jej pochodne, filozofia, nauki o języku, ekonomia),
- nauki społeczne – zajmujące się społeczeństwem (np. politologia, socjologia, stosunki międzynarodowe, pedagogika, psychologia).

W zależności od zakresu badań nauki można podzielić na dwie grupy:

- nauki przyrodnicze (ściśle), które wyjaśniają zjawiska występujące w przyrodzie np.: matematyka, biologia,
- nauki humanistyczne (społeczne), które zajmują się człowiekiem i wyjaśniają świat człowieka np.: socjologia, ekonomia.

Nauki można podzielić również, w zależności od ilości i czasu badanych przez nie zjawisk, na:

- nauki eksperymentalne zajmujące się zjawiskami stale i niezmiennie powtarzalnymi; należą do nich nauki ścisłe, większość przyrodniczych oraz nieliczne humanistyczne np.: ekonomia,
- nauki historyczne zajmujące się zjawiskami niepowtarzalnymi, wyjaśniające zjawiska *post factum*; należą do nich nauki humanistyczne i część przyrodniczych np.: medycyna, astronomia.

Z nauki można wyodrębnić grupę nauk technicznych. Naukową działalność badawczą w dziedzinie techniki prowadzi się w obszarze nauk technicznych.

Nauki techniczne stanowią grupę nauk badających zjawiska i ustalających zależności zachodzące w świecie wytworów i procesów powstałych w wyniku działalności technicznej człowieka. W odróżnieniu od nauk przyrodniczych, mogących jedynie przewidywać zjawiska podlegające prawom przyrody (w tym wytwory i procesy techniki), nauki techniczne określają cel tych procesów i dają podstawy do sterowania nimi zgodnie z założonym planem. Nauki techniczne posługują się innymi elementami niż humanistyczne. Należą one, podobnie jak nauki humanistyczne, do nauk empirycznych, różnią się jednak strukturą, stopniem rozwinięcia i zawartością systemów naukowych [3].

Podstawowe elementy wykorzystywane przez nauki techniczne to:

- obserwacja i pomiar naukowy;
- analiza krytyczna,
- eksperyment praktyczny,
- modelowanie matematyczne.

Nauki techniczne dzielą się na wiele gałęzi różniących się charakterem badań i zakresem wiedzy [5].

Nauki techniczne są nierozdzielnie związane z naukami ścisłymi, takimi jak: matematyka, fizyka, chemia czy biologia. Z jednej strony dorobek nauk ścisłych stanowi bazę techniki, z drugiej strony postęp techniczny wpływa na rozwój niemal wszystkich nauk, a szczególnie na rozwój nauk ścisłych.

1.1.2. Klasyfikacja nauk technicznych

Technologia (angielski termin *technology*) to zespół nauk technicznych o sposobach przetwarzania surowców i wytwarzania wyrobów i półwyrobów,

obiektów technicznych. Technologia obejmuje całokształt wiedzy potrzebnej do wytworzenia lub przetworzenia wyrobów, półwyrobów jak również uzyskania pewnego efektu.

Technologię można podzielić w zależności od [4];

- przetwarzanych materiałów (technologia drewna, metali itp.),
- rodzaju otrzymywanych produktów (technologia barwników, kwasów, budowy maszyn itp.),
- stosowanych metod (technologię mechaniczną, chemiczną itp.),
- rodzaju dziedzin nietechnicznych (technologia żywienia, biotechnologia).

Szeroki zakres terminu *technologia* powodował, że w przeszłości często rozumiany był on jako *technika*. Technika jest pojęciem znacznie obszerniejszym. Obecnie termin *technologia* zastępuje się terminem o szerszym znaczeniu, to jest pojęciem *inżynierii*.

Wiedza, której przedmiotem jest technika stanowi inżynierię.

Inżynieria jest nauką o wykorzystaniu właściwości materii oraz źródeł energii służących do tworzenia konstrukcji, maszyn i produktów oraz o sterowaniu zjawiskami związanymi ze środowiskiem naturalnym i organizmami żywymi.

Określa się inżynierię jako szeroko pojmowaną teorię lub praktykę poznania oraz celowego zmieniania i sterowania procesami lub systemami [3].

Dawniej pod pojęciem inżynieria rozumiano nauki wykonywania prac inżynierskich, projektowania i wznoszenia budowli. Zgodnie z tym pojęciem dzielono inżynierię na: inżynierię lądową, śródlądową, morską, sanitarną, leśną i wojskową. Podział ten był związany także z miejscem wykonywania prac inżynierskich.

Obecnie stosowany podział inżynierii jest rozszerzony o: inżynierię budownictwa, materiałową, jądrową, kosmiczną, chemiczną, produkcji, mechaniczną, elektryczną, energetyczną, elektroniczną, oprogramowania, społeczną, biochemiczną, biotechnologię, ortopedyczną i genetyczną [3].

Tabela 1.1. Klasyfikacja dyscyplin naukowych w dziedzinie nauk technicznych

Klasyfikacja Centralnej Komisji ds. Tytułu Naukowego i Stopni Naukowych [7]	Klasyfikacja Komitetu Badań Naukowych [8]
architektura i urbanistyka	architektura i urbanistyka
automatyka i robotyka	automatyka i robotyka
biocybernetyka	biocybernetyka i inżynieria biomedyczna
budowa i eksploatacja maszyn	budowa i eksploatacja maszyn
budownictwo	budownictwo
elektronika	elektronika
elektrotechnika	elektrotechnika
–	geodezja i kartografia

górnictwo	górnictwo
informatyka	informatyka
inżynieria chemiczna	inżynieria chemiczna
inżynieria materiałowa	inżynieria materiałowa
–	inżynieria środowiska
mechanika	mechanika
metalurgia	metalurgia
technologia chemiczna	technologia chemiczna
telekomunikacja	telekomunikacja
transport	transport
włókiennictwo	włókiennictwo

Inżynierie społeczna, biochemiczna, biotechnologia, ortopedyczna i genetyczna opierają się o interdyscyplinarne dziedziny nauki. Przedstawiony podział inżynierii nie jest podziałem wyczerpującym wszystkie dziedziny techniki, istnieje np. pojęcie inżynierii kolejowej czy górniczej. Inżynierie te należą jednocześnie do inżynierii kilku wymienionych grup.

Klasyfikacja dyscyplin naukowych w dziedzinie nauk technicznych została przeprowadzona przez Centralną Komisję ds. Tytułu Naukowego i Stopni Naukowych oraz przez Komitet Badań Naukowych. Klasyfikacje te różnią się tylko nieznacznie, co ilustruje tabela 1.1.

1.2. Cechy charakteryzujące dobrego inżyniera

Inżynieria jest działalnością zawodową, osoby wykonujące zawód związany z techniką to inżynierowie i technicy. Inżynierowie mogą być pracownikami zajmującymi kierownicze stanowiska w przedsiębiorstwach związanych z techniką lub naukowcami i nauczycielami przyszłych inżynierów.

Na przestrzeni wieków wiedza, którą powinni posiadać inżynierowie była zdobywana w różny sposób. W dawnych czasach nauka była pobierana u mistrza, wymagało to długiego okresu czasu. Sposób empiryczny zdobywania wiedzy, często żmudny, powodował dokonywanie odkryć w tym samym czasie przez różne osoby. W dobie odkryć technicznych wzrosła pozycja inżyniera i zapotrzebowanie na wiedzę techniczną. W dzisiejszych czasach rozwój techniki zależy od nauki i jest przez nią motywowany. Wzrosło zapotrzebowanie na kadrę techniczną z różnych, często nowych, specjalności.

W czasach obecnych, podczas dynamicznego rozwoju techniki, zwiększyły się wymagania stawiane współczesnym inżynierom. Wiedza z nauk podstawowych, zdobyta na studiach, nie wystarczy, ponieważ w wielu dziedzinach bardzo szybko się ona dezaktualizuje, np. wiedza z informatyki staje się w dużej części nieaktualna już po 1,5 roku. Współczesny inżynier musi przede wszystkim ciągle poszukiwać nowości technicznych oraz dokształcać się z dziedzin nie tylko

technicznych. Dziś dobry inżynier musi posiadać wiedzę z podstaw marketingu, ekonomii, prawa, znać zasady zarządzania przemysłem, posiadać umiejętność negocjacji oraz umiejętność pracy w zespole. Dlatego obecnie często spotykamy inżynierów posiadających obok ukończonych studiów technicznych, dyplomy z zarządzania. Dobrym rozwiązaniem jest również łączenie, już na studiach, wiedzy technicznej z wiedzą z zakresu zarządzania.

Zdobyty wysoki poziom wiedzy nie wystarczy, aby realizować wyzwania stawiane obecnie inżynierom. Określone zostały cechy, które powinien posiadać dobry inżynier, w zależności od rodzaju pracy jaką wykonuje. W połowie XX wieku określono cztery podstawowe cechy, które powinny charakteryzować inżyniera, jest to tak zwana „Wielka karta inżyniera” [9].

Cechy te to:

- 1 – wiedza merytoryczna – nauki fizyczne podstawowe i stosowane, wiedza praktyczna skodyfikowana, wiedza z dziedzin nietechnicznych,
- 2 – umiejętność – w projektowaniu, w obliczeniach, w korzystaniu ze źródeł, w badaniach symulacyjnych, współpracy z ludźmi, rozsądek,
- 3 – postawa – dociekliwość, obiektywizm, chłonność umysłu,
- 4 – zdolność do ciągłego samodoskonalenia.

Wymienione cechy charakteryzujące inżyniera są ciągle aktualne, wobec wyzwań przed którymi staje inżynier w XXI wieku, zostały one rozszerzone. Inne cechy powinien posiadać dobry inżynier praktyk, inne inżynier naukowiec.

Cechy dobrego inżyniera – pracownika przedsiębiorstw zajmujących się techniką [3, 10]

U inżyniera pracującego w przedsiębiorstwie istotne są następujące cechy:

1. Odpowiedni, wysoki poziom wykształcenia.
2. Operowanie odpowiednim aparatem matematycznym.
3. Zainteresowanie techniką.
4. Zdolność analitycznego myślenia.
5. Wysoka inteligencja.
6. Umiejętność twórczego rozwiązywania problemów.
7. Wyrwałość.
8. Odpowiedzialność.
9. Uczciwość.
10. Umiejętność pracy w zespole.
11. Odporność na stres związany z pracą w technice.

Cechy dobrego inżyniera – naukowca i nauczyciela [10]

1. Inżynier naukowiec powinien bronić każdego istotnego zagadnienia naukowego niezależnie od doraźnej użyteczności.
2. Inżynier naukowiec powinien ustawicznie poszerzać i pogłębiać swoją wiedzę, przeciwdziałając złemu wykorzystaniu osiągnięć technicznych przeciw człowiekowi i środowisku naturalnemu.
3. Inżynier naukowiec powinien bronić wolności nauki i powinien cechować się bezstronnością i postawą sprzeciwu wobec form dyskryminacji w nauce.
4. Naukowca obowiązuje postawa krytyczna, polegająca na poszanowaniu poglądów autorytetów naukowych, ale również stawianiu ponad nimi rzeczowych argumentów.
5. Inżynier naukowiec powinien cechować się pasją poznawczą i chęcią wzbogacenia własnego dorobku.
6. Inżynier naukowiec powinien być krzewicielem wiedzy technicznej, upowszechniać w społeczeństwie rzetelne wiadomości o nauce i technice oraz jej osiągnięciach, nie ukrywając jej ograniczeń.
7. Inżynier nauczyciel powinien poczuwać się do odpowiedzialności za rozwój naukowy swoich uczniów, przekazując im wiedzę i umiejętności.
8. Inżynier naukowiec jako członek społeczeństwa powinien wykorzystywać swą wiedzę, intelekt i autorytet w praktycznej działalności dla dobra społecznego.

1.3. Proces w technice. Maszyna

Przestrzeń aktywności człowieka stanowi ekosfera. Na ekosferę składają się trzy sfery: biosfera, technosfera i socjosfera.

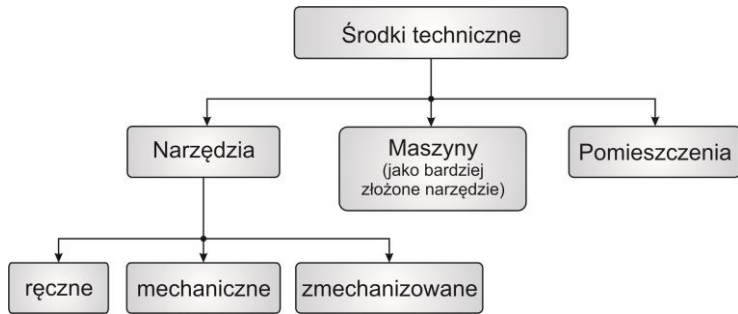
Biosferę stanowi otoczenie człowieka naturalnymi układami materialnymi stworzonymi przez naturę.

Technosferę tworzą sztuczne układy materialne powstałe dzięki działalności wytwórczej człowieka. Technosferę stanowi sztuczne otoczenie człowieka zatem głównie *środki techniczne*. Podział środków technicznych przedstawiono na rys. 1.1.

Socjosferę stanowi niematerialne otoczenie człowieka [4].

Narzędzia są wytworem człowieka służącym przekształcania materiałów oraz do przekazywania i przekształcania komunikatów. Narzędzia są w chwili działania szczególnym rodzajem przedłużenia organizmu człowieka.

- narzędzia ręczne (proste) to np. młotek, piła, przebijak,
- narzędzia maszynowe to np. frez, ściernica, wiertło,
- narzędzia zmechanizowane np. wiertarka ręczna.



Rys. 1.1. Podział środków technicznych

Pomieszczenia chronią dobra materialne i organizmy żywe przed wpływami otoczenia.

Maszyna (gr. *mechane*) jest sztucznym układem materialnym, wytworzonym przez człowieka. Maszyna wykonuje użyteczną pracę dzięki dostarczonej z zewnątrz energii.

Maszyna, według dyrektywy maszynowej [11], jest zestawem połączonych wzajemnie części lub podzespołów, z których przynajmniej jeden jest ruchomy, przy czym odpowiednie człony wykonawcze, obwody sterowania i zasilania są połączone w całość dla wykonania konkretnej czynności, szczególnie dla przetwarzania, obróbki, przemieszczenia lub pakowania materiałów.

Maszyna jest przetwornikiem masy, energii i informacji. Taka definicja maszyny stanowi podstawę podziału na:

- maszyny robocze o przewadze przetwarzania masy i energii,
- maszyny energetyczne o przewadze przetwarzania energii,
- maszyny informatyczne o przewadze przetwarzania informacji.

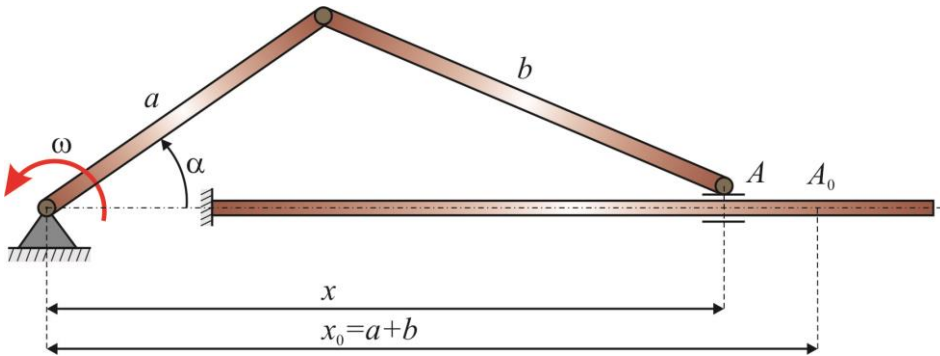
Ze względu na funkcję jaką spełniają maszyny dzielimy je na:

- silniki, które pobierają energię z zewnętrznego źródła i przetwarzają ją na energię mechaniczną potrzebną do napędu innych maszyn,
- maszyny robocze, które pobierają energię mechaniczną od silników i przetwarzają ją na użyteczną pracę.

W zależności od stopnia złożoności maszyna może składać się z zespołów, podzespołów i elementów. *Elementem maszyny* nazywamy jej część niepodzielną pod względem konstrukcyjnym. Złożone maszyny dzielimy na *zespoły*, które są układami elementów o określonym działaniu [4].

Mechanizm jest łańcuchem kinematycznym, w którym przynajmniej jeden człon jest nieruchomy, a pozostałe wykonują określone ruchy. Człony, którym nadawane są określone ruchy z zewnątrz są członami czynnymi. Człon, który przekazuje ruch na zewnątrz to człon bierny, pozostałe człony mechanizmu to człony pośrednie zwane łącznikami. Najczęściej spotykane mechanizmy to:

mechanizmy korbowe, mechanizmy krzywkowe, mechanizmy dźwigniowe, mechanizmy jarzmowe itp. Na rys. 1.2 pokazano schemat mechanizmu korbowego.



Rys. 1.2. Schemat mechanizmu korbowego:
korba o długości a , łącznik o długości b , suwak A

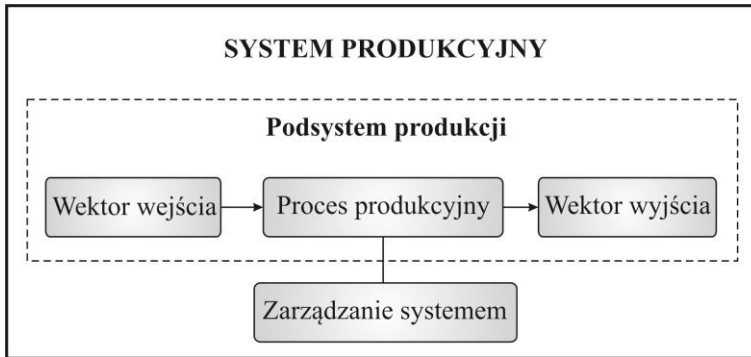
Aparat jest urządzeniem, które nie pobiera energii z zewnątrz. Działanie aparatu jest oparte o reakcje chemiczne lub fizyczne, np. aparat telefoniczny, aparat fotograficzny.

Do wielu zjawisk technicznych podchodzi się w sposób procesowy, to znaczy, że analizę zjawiska przeprowadza się na tle procesów z tym zjawiskiem powiązanych.

Proces, w normie PN-EN ISO 9000:2001, zdefiniowano jako **system** działań, w których zasoby są używane do transformacji stanu wejściowego (wejścia) w stan wyjściowy (wyjście).

Systemem technicznym nazywa się układ elementów technicznych sprzężonych wewnątrz [3]. Samochód jest systemem technicznym, składa się on ze sprzężonych, skoordynowanych wewnątrz i mających określoną strukturę zespołów. Zespoły te są elementami systemu. Innym przykładem systemu technicznego jest hala produkcyjna, elementami tego systemu są maszyny produkcyjne, magazyn, narzędziownia, pojazdy transportu wewnętrznego i inne. Wszystkie te mniejsze systemy są sprzężone wewnątrz technologią i organizacją produkcji.

System produkcyjny stanowi układ materialny energetyczny i informacyjny, zaprojektowany i zorganizowany w celu wytwarzania określonych produktów zaspokajających potrzeby konsumentów, obrazuje to rys. 1.3.



Rys. 1.3. Elementy systemu produkcyjnego

1.4. Jednostki miar stosowane w technice

Każda dziedzina techniki ma swój, ją charakteryzujący, system wielkości, parametrów i wskaźników. Grupa wielkości, parametrów i wskaźników wywodzących się bezpośrednio z fizyki, ma charakter uniwersalny. Wielkości fizyczne stosowane w technice są określone w układzie jednostek.

1.4.1. Powstanie układu jednostek miar SI

Obecnie w technice jest stosowany układ jednostek miar **SI** (Système International d'Unités), który został zdefiniowany i zaakceptowany na XI Generalnej Konferencji Miar w 1960 roku. W Polsce układ SI przyjęto i uznano za obowiązujący w 1966 roku.

Przed wprowadzeniem układu SI do powszechnego użytku, były stosowane w różnych krajach i regionach odmienne układy. Początkiem systemu jednostek miar były dekryty wydane we Francji pod koniec XVIII wieku, wprowadzające jednostki „metr i kilogram” jako „prawdziwe i ostateczne”. System metryczny rozpowszechnił się poza granicami Francji dopiero w drugiej połowie XIX wieku. Polska wprowadziła system metryczny 08.02.1919 roku. Próbę ujednoczenia jednostek miar podjął w 1832 roku Karol Gauss, stworzył układ oparty na trzech jednostkach, który jest pierwowzorem układu **CGS**, w którym:

- długość wyrażona jest w centymetrach,
- masa wyrażona jest w gramach,
- czas wyrażony jest w sekundach.

Poprzez modyfikację układu CGS powstał absolutny układ elektrostatyczny **ES CGS**, w którym wprowadzono dodatkowo pojęcie bezwymiarowej przenikalności elektrycznej próżni o wartości równej jeden. Podobnie, w absolutnym układzie elektromagnetycznym **EM CGS** wprowadzono dodatkowo pojęcie bezwymiarowej przenikalności magnetycznej próżni o wartości równej jeden. Kolejnym układem

jednostek miar dopuszczonym do powszechnego użycia, był układ **MKS**, w którym trzy podstawowe jednostki układu CGS były wyrażone odpowiednio w: metrach, kilogramach i sekundach. Udoskonalony przez Giorgiego w 1935 roku układ MKS, to układ **MKSA** w którym dodano jednostkę prądu elektrycznego – amper.

Pracami nad udoskonalaniem i modyfikacją układu MKSA zajmowała się Komisja Miar wyłoniona przez Międzynarodowy Komitet Miar. Efektem prac jest układ jednostek miar SI. Układ SI ma na celu zastąpienie wszystkich dotychczas stosowanych układów jednostek, wprowadza on w sposób jednolity i konsekwentny jednostki miar dla wszystkich wielkości fizycznych. Układ SI eliminuje możliwość wyrażania mierzalnych wielkości fizycznych za pomocą jednostek pośrednich, dopuszcza jednak jednostki pozaukładowe odniesione, przeznaczone np. określenia położenia zdarzenia w czasie (kalendarz) czy określenia poziomu temperatur (stopień Celsjusza).

Układ SI składa się z siedmiu podstawowych jednostek miar i dwóch jednostek uzupełniających [11].

1.4.2. Jednostki miar układu SI

Wymienione w tabeli 1.2 jednostki miar podstawowe i uzupełniające zdefiniowane są następująco:

Metr – jest to odległość jaką pokonuje światło w próżni w czasie $1/299792458$ sekundy.

Kilogram – jest to masa międzynarodowego wzorca wykonanego ze stopu platyny z irydem.

Sekunda – jest to czas trwania 9 192 631 770 okresów promieniowania odpowiadającemu przejściu między dwoma nadsubtelnymi poziomami stanu podstawowego atomu cezu¹³³. Sekunda to $1/86400$ część doby.

Amper – jest to natężenie prądu stałego, który płynąc w dwóch równoległych, prostoliniowych nieskończenie długich przewodach o znikomo małym kołowym przekroju, umieszczonych w próżni w odległości 1m od siebie, powoduje wzajemne oddziaływanie przewodów na siebie siłą równą 2×10^{-7} N na każdy metr długości przewodu.

Kelwin – jest to temperatura równa $1/273,16$ temperatury punktu potrójnego wody.

Mol – jest licznosc materii układu zawierającego liczbę cząstek równą liczbie atomów w masie 12 gramów izotopu węgla¹²C.

Kandela – jest to światłość z jaką świeci źródło emitujące promieniowanie monochromatyczne o częstotliwości 540×10^{12} Hz o natężeniu $1/683$ W/Sr.

Radian – jest to kąt płaski równy kątowi między dwoma promieniami, wycinającymi z okręgu tego koła łuk o długości równej promieniowi.

Sterydian – jest to kąt bryłowy o wierzchołku w środku kuli, wycinający z powierzchni tej kuli pole równe kwadratowi promienia.

Tabela 1.2. Jednostki miar układu SI

Wielkość	Nazwa	Symbol
JEDNOSTKI PODSTAWOWE		
Długość	metr	m
Masa	kilogram	kg
Czas	sekunda	s
Natężenie prądu elektrycznego	amper	A
Temperatura termodynamiczna	kelwin	K
Ilość materii	mol	mol
Światłość	kandela	cd
JEDNOSTKI UZUPEŁNIAJĄCE		
Kąt płaski	radian	rad
Kąt bryłowy	sterydian	sr
PRZYKŁADY ANGIELSKICH I AMERYKAŃSKICH JEDNOSTEK MIAR		
Długość	cal	in (1in = 2,54 cm)
Długość	jard	yd (1yd = 91,4 cm)
Masa	uncja	oz (1oz = 28,35 gr)
Masa	poud	Ib (1Ib = 0,454 kg)
Objętość	galon	gall (1gall = 4,55 l)

1.4.3. Jednostki pochodne układu SI

Jednostki miar pochodne są to jednostki układu SI, które można wyrazić poprzez jednostki podstawowe i jednostki uzupełniające. Podstawowe i pochodne jednostki miar nazywamy jednostkami głównymi. Stosowane w praktyce główne jednostki miary bywają w licznych przypadkach, za duże lub za małe. Dlatego też w technice stosuje się również jednostki miar wtórne, wielokrotne i podwielokrotne. Nazwa i symbol jednostek wtórnych powstaje poprzez dodanie odpowiedniego przedrostka do nazwy jednostki głównej. Jednostki wtórne miar przedstawia tabela 1.3.

Tabela 1.3. Wielokrotne i podwielokrotne jednostki miar [6]

Mnożnik	Przedrostek	Symbol	Mnożnik	Przedrostek	Symbol
10^{12}	tera-	T	10^{-1}	decy-	d
10^9	giga-	G	10^{-2}	centy-	c
10^6	mega-	M	10^{-3}	mili-	m
10^3	kilo-	k	10^{-6}	mikro-	μ
10^2	hekto-	h	10^{-9}	nano-	n
10^1	deka-	da	10^{-12}	piko-	p

Najczęściej stosowane w technice jednostki miar przedstawiono w tabeli 1.4.

Tabela 1.4. Wybrane pochodne jednostki miar układu SI

Lp.	Wielkość	Nazwa	Symbol	Jednostka	Wymiar w jedn. podstawowych
Mechanika					
1	Siła	niuton	N		kgm/s^2
2	Ciśnienie	paskal	Pa	N/m^2	$\text{kgm}^{-1}/\text{s}^2$
3	Energia, praca	Dżul	J	Nm	kgm^2/s^2
4	Moc	Wat	W	J/s	kgm^2/s^3
5	Częstotliwość	herc	Hz		s^{-1}
Elektromagnetyzm					
6	Ładunek elektryczny	kulomb	C		As
7	Napięcie elektryczne	wolt	V	J/C, W/A	$\text{kgm}^2\text{s}^{-3}\text{A}^{-1}$
8	Natężenie pola elektrycznego	wolt na metr		V/m, N/C	$\text{kgms}^{-3}\text{A}^{-1}$
9	Pojemność elektryczna	farad	F	C/V	$\text{kg}^{-1}\text{m}^{-2}\text{s}^4\text{A}^2$
10	Rezystancja	om	Ω	V/A	$\text{kgm}^2\text{s}^{-3}\text{A}^{-2}$
11	Przewodność elektryczna	simens	S	A/V, Ω^{-1}	$\text{kg}^{-1}\text{m}^{-2}\text{s}^{-3}\text{A}^2$
12	Strumień magnetyczny	weber	Wb	V s	$\text{kgm}^2\text{s}^{-2}\text{A}^{-1}$
13	Indukcja magnetyczna	tesla	T	Wb/m ²	$\text{kgs}^{-2}\text{A}^{-1}$
14	Natężenie pola magnetycznego	amper na metr			A/m
15	Indukcyjność magnetyczna	henr	H	Wb/A	$\text{kgm}^2\text{s}^{-2}\text{A}^{-2}$
Optyka					
16	Strumień świetlny	lumen	lm		cd sr
17	Natężenie oświetlenia	luks	lx	lm/m^2	cdsr/m^2
Atomistyka					
18	Dawka pochłonięta	grej	Gy		m^2s^{-2}
19	Aktywność źródła promieniotwórczego	bekerelel	Bq		s^{-1}

Literatura

- [1] Technika, <http://pl.wikipedia.org/wiki/>.
- [2] **Kaliszewicz D.** (red), *Nowa encyklopedia powszechna*, PWN, Warszawa 1998.
- [3] **Kubicki W.**, *Wprowadzenie do techniki*, Uczelniane Wydawnictwo Naukowo-Dydaktyczne AGH, Kraków 2006.
- [4] **Szala J.**, *Podstawowe problemy współczesnej techniki*, Wydawnictwo Uczelniane AT-R, Bydgoszcz 1998.
- [5] **Borowski R.**: *Cywilizacja, technika, ekologia*, Uczelniane Wydawnictwo Naukowo-Dydaktyczne AGH, Kraków 2001.
- [6] **Tomaszewski Z.**, *Wprowadzenie do techniki*, Wydawnictwa Politechniki Poznańskiej, Poznań 2002.
- [7] Obwieszczenie Przewodniczącego Centralnej Komisji do Spraw Tytułu Naukowego i Stopni Naukowych, *Monitor Polski* 2003 Nr 2.
- [8] KBN, *Biuletyn Komitetu Badań Naukowych* 2001.
- [9] **Krick E.**, *Wprowadzenie do techniki i projektowania technicznego*, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 1975.
- [10] *Dobre obyczaje w nauce. Zbiór zasad i wytycznych*, Komitet Etyki w Nauce przy PAN, Warszawa 2001.
- [11] Dyrektywa maszynowa. Wprowadzenie maszyn na rynek UE. 2006/42/WE (98/37/WE).
- [12] **Obalski J.**, *Zasady międzynarodowego układu jednostek miar SI*, Wydawnictwo Normalizacyjne, Warszawa 1981.

2. ELEMENTY MECHANIKI I WYTRZYMAŁOŚCI MATERIAŁÓW

2.1. Podstawowe pojęcia mechaniki

Mechanika ogólna, zwana również teoretyczną, zajmuje się badaniem ruchu ciał materialnych. W mechanice do badań przyjęto pewne uproszczone modele ciał rzeczywistych, takie jak **punkt materialny i ciało doskonale sztywne**.

Punktem materialnym nazywamy model ciała o tak małych wymiarach, że można pominąć zmiany położenia ciała wywołane przez obrót i traktować go jak punkt geometryczny obdarzony masą.

Ciałem doskonale sztywnym nazywamy model ciała, w którym odległości pomiędzy jego punktami nie zmieniają się pod działaniem sił. Jest to ciało nieodkształcalne [1].

Mechanikę można podzielić na dwa podstawowe działy: **kinematykę i dynamikę**. Kinematyka zajmuje się badaniem ruchu bez uwzględnienia czynników wywołujących ten ruch, dynamika bada ruch ciał materialnych w zależności od sił, które działają na te ciała i wywołują ruch. Dynamika zajmuje się zagadnieniami podstawowymi dla mechaniki i jej technicznych zastosowań. Z dynamiki można wyodrębnić dział **statyki**, który opisuje sytuacje, gdy siły działające na ciała równoważą się i ciało materialne pozostaje w spoczynku. Mechanika opiera się na prawach sformułowanych w 1687 roku przez Newtona, odnoszą się one do punktu materialnego poruszającego się pod działaniem siły.

Prawo pierwsze. Punkt materialny, na który nie działa żadna siła, pozostaje w spoczynku lub porusza się ruchem jednostajnym po linii prostej.

Prawo drugie. Przyspieszenie p punktu materialnego o masie m jest proporcjonalne do siły P działającej na ten punkt.

$$m \cdot p = P \quad (2.1)$$

Prawo trzecie. Siły wzajemnego oddziaływania dwóch punktów materialnych są równe co do wartości i przeciwnie skierowane wzdłuż tej samej prostej.

2.2. Statyka

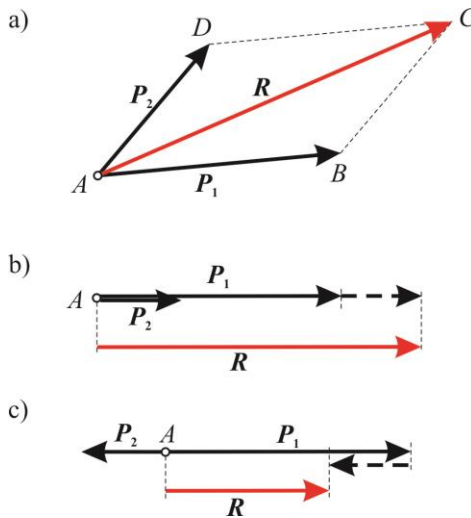
Statyka jest działem mechaniki, który zajmuje się ustalaniem warunków, jakie muszą być spełnione, aby ciała materialne będące pod działaniem sił pozostawały w równowadze. Podstawowe wielkości występujące w statyce to **siła i moment siły**.

Siłą nazywamy wzajemnie oddziaływanie ciał na siebie. Siła jest wielkością wektorową, aby ją określić należy podać jej linię działania, punkt przyłożenia i wartość liczbową. Jednostką siły jest niuton (N).

Momentem siły względem punktu O nazywamy wektor, prostopadły do płaszczyzny działania siły o wartości liczbowej równej iloczynowi wartości liczbowej siły i ramienia tej siły względem punktu O . Za dodatni kierunek momentu siły przyjęto umownie kierunek trygonometryczny. Jednostką momentu siły w układzie SI jest 1 niutonometr (1 Nm).

Statyka opiera się na prostych zasadach, zwanych zasadami statyki, które sformułowano na podstawie doświadczeń i obserwacji zjawisk zachodzących w otaczającym nas świecie. Przyjmuje się je jako aksjomaty.

Zasada pierwsza (zasada równoległoboku). Dowolne dwie siły przyłożone do jednego punktu, możemy zastąpić siłą wypadkową przyłożoną do tego punktu i przedstawioną jako wektor będący przekątną równoległoboku zbudowanego na wektorach sił (rys. 2.1).



Rys. 2.1. Przykład wyznaczania siły wypadkowej dwóch sił

Zasada druga. Dwie siły przyłożone do jednego punktu równoważą się tylko wtedy, gdy działają wzdłuż jednej prostej, są przeciwnie skierowane i mają te same wartości liczbowe.

Zasada trzecia. Działanie dwóch sił przyłożonych do ciała sztywnego nie ulegnie zmianie, jeżeli do układu dodamy lub odejmiemy dowolny układ równoważących sił (tzw. układ zerowy).

Zasada czwarta (zasada zeszczywnienia). Równowaga sił działających na ciało odkształcalne nie zostanie naruszona przez zeszczywnienie tego ciała.

Zasada piąta (zasada akcji i reakcji). Każdemu działaniu towarzyszy równe co do wartości i przeciwnie skierowane wzdłuż tej samej prostej przeciwdziałanie.

Zasada szósta (zasada oswobodzenia z więzów). Każde ciało nieswobodne można myślowo oswobodzić od więzów, zastępując przy tym ich działanie odpowiednimi reakcjami. Dalej rozpatrywać można ciało tak jak ciało swobodne, podlegające działaniu sił czynnych i reakcji więzów [1].

Aby ustalić warunki równowagi ciała, należy określić wszystkie siły działające na badane ciała materialne. Siły działające na ciała to: siły czynne i reakcje więzów.

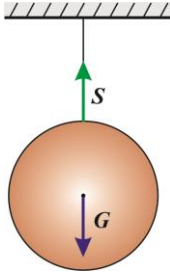
Więzami, w znaczeniu statycznym, nazywamy ograniczenia ruchu ciała nałożone na ciało przez inne ciała. Siły oddziaływania tych więzów nazywamy *reakcjami więzów* [2].

Siły działające na ciało sztywne mogą działać w jednej płaszczyźnie i wtedy mamy do czynienia z *płaskim układem sił*, lub też nie działają w jednej płaszczyźnie i wtedy taki układ sił nazywamy *przestrzennym układem sił*.

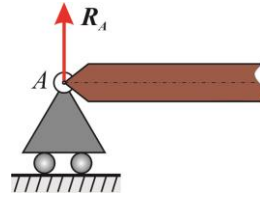
Aby ciało sztywne pozostawało w równowadze, muszą być spełnione określone warunki, które opisane są równaniami równowagi. Postać i ilość równań równowagi zależą od rodzaju układu sił.

Zgodnie z zasadami statyki, każde ciało nieswobodne możemy myślowo oswobodzić z więzów, zastępując ich działanie odpowiednimi reakcjami, ciało takie można rozpatrywać tak jak ciało swobodne będące pod działaniem sił czynnych i sił reakcji więzów. Najczęściej spotykane rodzaje zamocowań to: ciągna, przegubowe pręty, podpory rolkowe, przeguby walcowe i kuliste, łożyska poprzeczne i poprzeczno-wzdłużne, utwierdzenia, oraz powierzchnie podłoża. Na rys. 2.2-2.5 przedstawiono niektóre ważniejsze przypadki więzów, którym mogą być poddane ciała materialne, oraz reakcje od tych więzów.

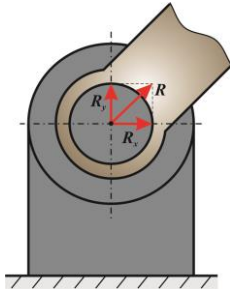
- **Cięgno.** Jeżeli ciało jest zawieszona na nieważkim i wiotkim cięgnie (rys. 2.2), to reakcja ciągna S na ciało jest skierowana wzdłuż cięgna (ciągnie może być tylko rozciągnięte).
- **Podpora przesuwna zwana również rolkową.** Linia działania reakcji R od podpory przesuwniej jest prostopadła do płaszczyzny, na której znajdują się rolki (rys. 2.3).
- **Przegub walcowy stały.** Reakcja R sworznia na ciało będzie przechodziła przez oś sworznia (przy pominięciu tarcia). Reakcję R można przedstawić dwoma prostopadłymi do siebie składowymi: R_x, R_y (rys. 2.4).
- **Przegub kulisty.** Reakcja R w przegubie przechodzi przez środek kuli (przy pominięciu tarcia). Reakcję R można przedstawić trzema prostopadłymi do siebie składowymi: R_x, R_y, R_z (rys. 2.5).
- **Reakcja od powierzchni.** Gdy ciało opiera się o powierzchnię innego ciała to w punkcie styku z nią, na ciało działa reakcja R . Jeżeli powierzchnie styku są idealnie gładkie, to występuje tylko reakcja prostopadła do stykających się powierzchni.



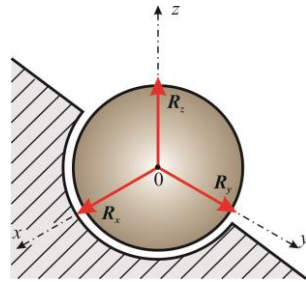
Rys. 2.2. Ciało zawieszona na cięgnie



Rys. 2.3. Podpora rolkowa



Rys. 2.4. Przegub stały

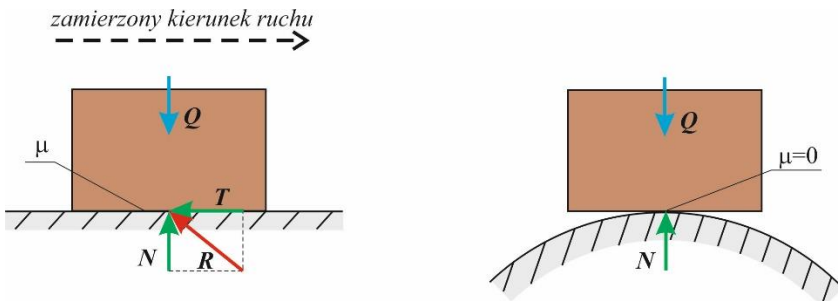


Rys. 2.5. Przegub kulisty

Jeżeli powierzchnie stykających się ciał są chropowate, co jest powszechnie występującym zjawiskiem, pojawia się pomiędzy nimi siła stawiająca opór, siła ta nazywa się siłą tarcia. Tarcie ciał będących w spoczynku (łącznie z momentem rozpoczęcia ruchu) nazywa się *tarciem statycznym*, zaś tarcie ciał poruszających się nazywa się *tarciem kinetycznym*.

Reakcja pomiędzy chropowatymi powierzchniami posiada dwie składowe: N – składowa normalna do powierzchni styku, zwana reakcją normalną, T – składowa styczna do powierzchni styku, zwana reakcją styczną lub siłą tarcia.

Reakcje podłoża gładkiego i chropowatego przedstawiono na rys. 2.6.



Rys. 2.6. Ciało na chropowatym podłożu i na podłożu gładkim

Zależność pomiędzy siłami N i T określają *prawa tarcia*. Prawa te sformułowali w XVII wieku, na podstawie wielu doświadczeń, Coulomb i Morena:

1. Siła tarcia nie zależy od wielkości stykających się powierzchni a jedynie od ich stanu.
2. Wielkość siły tarcia, dla ciał znajdujących się w spoczynku, może zmieniać się od zera do maksymalnej wartości proporcjonalnej do nacisku normalnego.

Dla ciał pozostających w spoczynku istnieje zależność:

$$T \leq \mu N.$$

Jeżeli siła tarcia osiąga maksymalną wartość, mamy wtedy do czynienia z tzw. *tarciami całkowicie rozwiniętym*:

$$T = \mu N.$$

3. Siła tarcia jest zawsze skierowana – dla ciał ślizgających się przeciwnie do kierunku ruchu, dla ciał pozostających w spoczynku – przeciwnie do zamierzonego kierunku ruchu.

Współczynnik proporcjonalności μ nazywa się *współczynnikiem tarcia statycznego*, jest to wielkość bezwymiarowa.

Jeżeli ciało ślizga się po powierzchni podłoża (drugiego ciała), współczynnik tarcia oznaczany jest μ' i nosi nazwę *współczynnika tarcia kinetycznego*.

2.2.1. Rodzaje tarcia

Tarcie możemy podzielić ze względu na różne kryteria [5].

Ze względu na *rodzaj ruchu* tarcie dzielimy na: *tarcie ślizgowe i toczne*. Tarcie o którym mowa w prawach tarcia, to tarcie ślizgowe. W przypadku, gdy jedno ciało toczy się po powierzchni drugiego ciała, mamy do czynienia z tarcie tocznym. Występowanie tarcia tocznego w czasie ruchu ciała powoduje przesunięcie reakcji normalnej N o pewną wielkość f , w stosunku do punktu styku toczącego się walca, w kierunku ruchu walca. Wielkość f [cm] nazywa się *współczynnikiem tarcia tocznego*.

Ze względu na *stan ruchu* – tarcie dzielimy na: *tarcie statyczne i kinetyczne*.

Ze względu na *miejsce* – tarcie dzielimy na: *tarcie zewnętrzne i wewnętrzne*.

Ze względu na *material* – tarcie dzielimy na: *ciał stałych i w płynach*.

Ze względu na *styk* – tarcie dzielimy na: *suche, płynne, graniczne i mieszane*.

Tarcie w technice występuje powszechnie, raz sprzyja nam np. w działaniu hamulców i sprzęgieł, innym razem szkodzi np. tarcie w łożyskach. Nasze życie bez tarcia byłoby niemożliwe.

Tablica 2.1. Przykłady wielkości współczynników różnych rodzajów tarcia

Kojarzone materiały	Tarcie Kinetyczne μ'	Tarcie statyczne μ	Tarcie toczne f [cm]
Stal-tworzywo cierne	0,28	0,50	-
Stal-drewno	0,20	0,40	-
Stal-stal	0,15	0,30	-
Stal-miedź	0,10	0,22	-
Stal-teflon	0,08	0,19	-
Stal-nylon	0,04	0,10	-
Walec stalowy po asfalcie	-	-	0,60
Walec drewniany po stali	-	-	0,60
Walec stalowy po stali	-	-	0,005
Kula stalowa po stali	-	-	0,003

2.3. Kinematyka

Ruchem ciała nazywamy zjawisko polegające na zmianie w czasie położenia tego ciała względem innego ciała nieruchomego traktowanego jako układ odniesienia. W mechanice przyjmujemy Ziemię jako nieruchomy układ odniesienia.

Kinematyka zajmuje się opisem ruchu i parametrów ruchu, takich jak tory, prędkości i przyspieszenia oraz innych, dodatkowych jego właściwości. Jeżeli opis ten odniesiony jest do:

- *punktu*, traktowanego jako element bezwymiarowy, to mówimy wówczas o *kinematyce punktu*,
- *ciała*, czyli elementu dwu- bądź trójwymiarowego, to mówimy wówczas o *kinematyce ciała*.

2.3.1. Ruch punktu

Ruch punktu w ogólnym przypadku może odbywać się w trójwymiarowej przestrzeni, opisanej układem osi $Oxyz$ i wówczas, w dowolnej chwili, położenie punktu w przestrzeni określa pokazany na rysunku 2.7a promień-wektor \mathbf{r} , którego współrzędne są funkcjami pewnego parametru t (najczęściej czasu), a sam wektor można zapisać [2]:

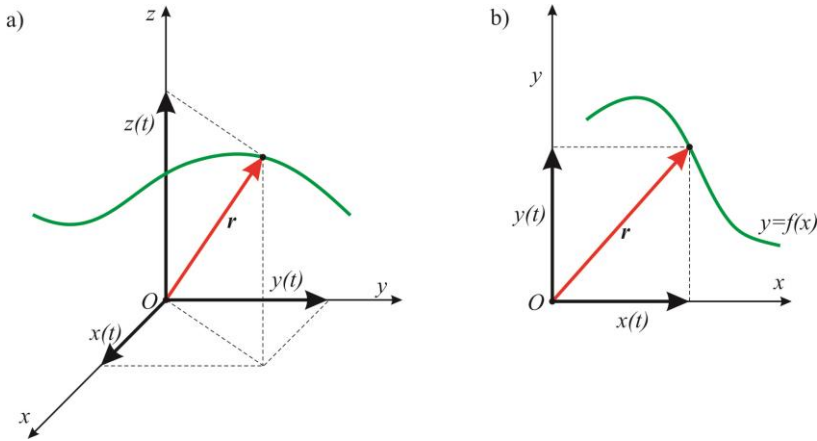
$$\mathbf{r} = x(t)\mathbf{i} + y(t)\mathbf{j} + z(t)\mathbf{k}. \quad (2.2)$$

W zagadnieniach płaskich znika współrzędna $z(z=0)$ i wówczas równanie (2.2) przybiera postać (rys. 2.7b):

$$\mathbf{r} = x(t)\mathbf{i} + y(t)\mathbf{j}. \quad (2.3)$$

Ruch punktu może odbywać się po torze prostoliniowym lub krzywoliniowym.

Torem punktu nazywamy miejsce geometryczne chwilowych położenia punktu.



Rys. 2.7. Położenie punktu na torze a) w przestrzeni, b) na płaszczyźnie

Prędkością punktu V nazywamy wektor styczny do toru, po którym porusza się punkt i skierowany w kierunku ruchu. Wartość bezwzględna wektora prędkości jest równa wartości bezwzględnej pochodnej drogi s punktu względem czasu (2.4).

$$V = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta s}{\Delta t}, \quad V = \frac{ds}{dt}. \quad (2.4)$$

Przyspieszenie punktu p jest równe granicy, do której dąży stosunek przyrostu geometrycznego prędkości do przyrostu czasu dążącego do zera

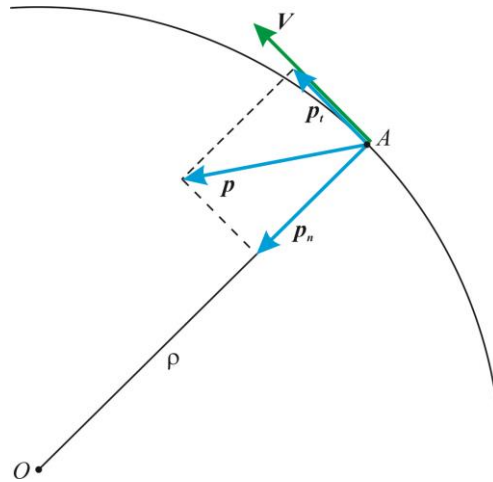
$$p = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta V}{\Delta t}. \quad (2.6)$$

Wektor przyspieszenia punktu poruszającego się po torze prostoliniowym jest położony wzdłuż toru i jego wartość bezwzględna wynosi:

$$p = \frac{dV}{dt}. \quad (2.7)$$

Wektor przyspieszenia punktu poruszającego się po torze krzywoliniowym posiada dwie składowe: składową styczną p_t skierowaną stycznie do toru i składową normalną p_n skierowaną do środka krzywizny toru, co ilustruje rys. 2.8. Wartości bezwzględne wektorów składowych przyspieszenia wynoszą:

$$p_t = \frac{dV}{dt}, \quad p_n = \frac{V^2}{\rho}. \quad (2.8)$$



Rys. 2.8. Wektory prędkości i przyspieszenia punktu w ruchu krzywoliniowym

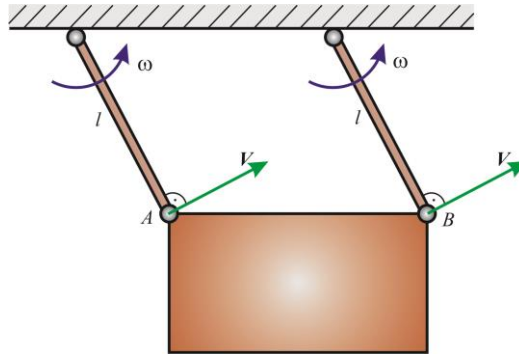
Szczególne przypadki ruchu punktu to:

- ruch prostoliniowy jednostajnie przyspieszony,
- ruch harmoniczny,
- ruch po okręgu,
- ruch krzywoliniowy ze stałym przyspieszeniem:
 - o rzut ukośny,
 - o rzut pionowy,
- spadek swobodny.

2.3.2. Ruch ciała sztywnego

Dla określenia położenia swobodnego ciała sztywnego w przestrzeni w stosunku do nieruchomego układu odniesienia, należy określić sześć niezależnych parametrów. Parametry te nazwano liczbą stopni swobody. W przypadku gdy ciało nie jest swobodne, jest zamocowane, jego liczba stopni swobody jest mniejsza od sześciu, np. utwierdzając ciało odbieramy mu wszystkie stopnie swobody. W zależności od ilości odebranych stopni swobody, rozróżniamy różne rodzaje ruchu ciała sztywnego.

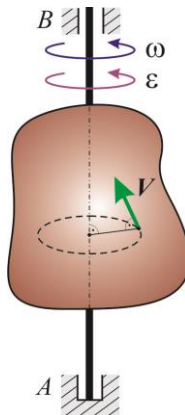
Ruch postępowy ciała sztywnego. Ten rodzaj ruchu polega na równoległym przesuwanie się ciała sztywnego względem nieruchomego układu odniesienia. Ruch postępowy ciała sztywnego występuje wtedy i tylko wtedy, gdy dowolne dwa punkty ciała mają wektory prędkości równoległe i równej wartości. Wektory prędkości są zawsze styczne do torów, po których poruszają się punkty. Przykład ruchu postępowego pokazano na rys. 2.9.



Rys. 2.9. Przykład ruchu postępowego ciała

Przyspieszenia dwóch dowolnych punktów ciała sztywnego w ruchu postępowym są również wektorami równoległymi i równej wartości.

Ruch obrotowy ciała sztywnego. W ruchu obrotowym ciała sztywnego jedna prosta ciała jest unieruchomiona. Jest to oś, wokół której dokonuje się obrót, punkty ciała poruszają się w płaszczyznach prostopadłych do osi obrotu, po torach kołowych, o promieniach równych odległości tych punktów od osi obrotu, pokazano to na rys. 2.10. Wektor prędkości kątowej ruchu obrotowego ω leży na osi obrotu. Przyspieszenie kątowe ε ciała w ruchu obrotowym jest wektorem leżącym na osi obrotu, zwróconym zgodnie (gdy jest dodatnie) lub przeciwnie (gdy ujemne) z wektorem prędkości kątowej

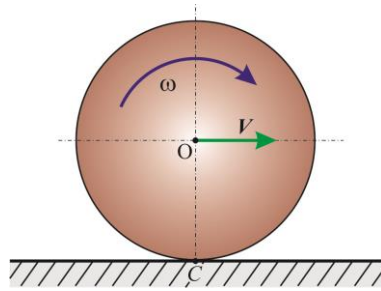


Rys. 2.10. Przykład ruchu obrotowego ciała sztywnego

Ruch płaski ciała sztywnego. Jest to ruch podczas którego wszystkie punkty ciała poruszają się w płaszczyznach równoległych do pewnej nieruchomej płaszczyzny zwanej płaszczyzną kierującą. Ruch płaski, według metody biegunowej,

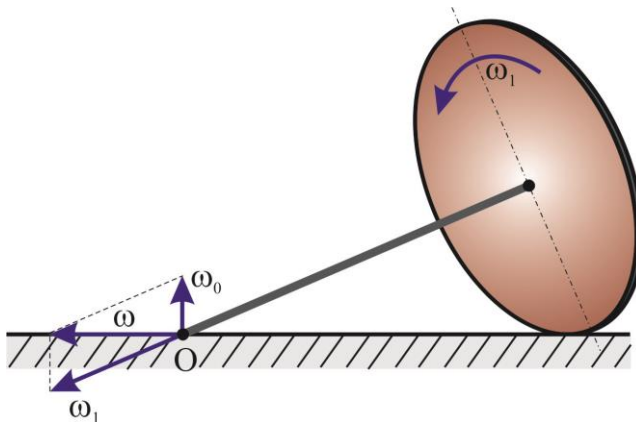
możemy traktować jako ruch obrotowy ciała wokół pewnego jego punktu zwanego *biegunem*, przy założeniu, że ten biegun, a wraz z nim całe ciało, porusza się ruchem postępowym. Metodę tę stosuje się osobno dla prędkości i osobno dla przyspieszeń, wobec tego w ogólnym przypadku inny punkt może być biegunem dla prędkości, inny biegunem dla przyspieszeń.

Ruch płaski można przedstawić także, jako chwilowy ruch obrotowy wokół *chwilowego środka obrotu*, czyli punktu, którego chwilowa prędkość jest równa zero. Metoda chwilowego środka obrotu ma zastosowanie wyłącznie dla znajdowania prędkości w ruchu płaskim. Kula tocząca się bez poślizgu po nieruchomym podłożu porusza się ruchem płaskim, punkt C na rys. 2.11, jest w tym przypadku *chwilowym środkiem obrotu*.



Rys. 2.11. Przykład ruchu płaskiego ciała sztywnego

Ruch kulisty ciała sztywnego. Jest to ruch podczas którego jeden punkt ciała pozostaje nieruchomy. Punkt ten nazywamy *środkiem ruchu kulistego*. Na rys. 2.12 punkt O jest dla toczącej się bez poślizgu tarczy *środkiem ruchu kulistego*. Ciało o unieruchomionym jednym punkcie przemieścić można z jednego położenia w dowolne położenie za pomocą jednego obrotu wokół pewnej osi przechodzącej przez środek ruchu kulistego [1].



Rys. 2.12. Przykład ruchu kulistego ciała sztywnego

Ruch złożony – względny i unoszenia. Przedstawione powyżej rodzaje ruchów były odniesione w stosunku do nieruchomego układu odniesienia. Ruch ciała może odbywać się również po ruchomym układzie, a obydwa ruchy, odbywające się jednocześnie, mogą być odniesione do nieruchomego układu odniesienia. *Ruchem bezwzględnym* nazywamy ruch punktu lub ciała względem układu nieruchomego. Ruch tego samego ciała względem układu ruchomego nazywamy *ruchem względnym*, zaś ruch ruchomego układu nazywamy *ruchem unoszenia*. W takim przypadku mamy więc do czynienia z *ruchem złożonym* z ruchu względnego i ruchu unoszenia. Przykładem ruchu złożonego jest poruszający się po kuli ziemskiej człowiek, jeżeli będzie on obserwowany ze Słońca.

Ruch ogólny ciała sztywnego. Ciało niepodlegające żadnym ograniczeniom ruchu, ciało swobodne, może poruszać się ruchem ogólnym. Ruch ten możemy przedstawić jako przesunięcie równoległe ciała, równe przesunięciu dowolnego punktu tego ciała, oraz obrotu wokół pewnej osi przechodzącej przez ten punkt.

2.4. Dynamika

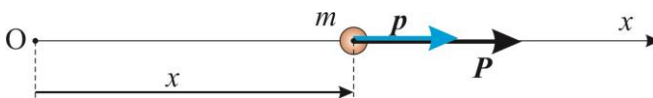
Dynamika jest działem mechaniki, który zajmuje się badaniem ruchu ciał w zależności od sił, które działają na te ciała i wywołują ruch. Dynamika zajmuje się zagadnieniami podstawowymi dla mechaniki i jej technicznych zastosowań. Dynamika opiera się na prawach Newtona, które są przedstawione w p. 2.1. Podobnie jak w kinematyce, w dynamice wyróżniono:

- dynamikę punktu materialnego,
- dynamikę układu punktów materialnych, w tym ciała sztywnego.

Układem punktów materialnych jest zbiór dowolnych punktów materialnych. Każde ciało materialne można podzielić myślowo na nieograniczenie małe elementy, które w granicy można przyjąć jako punkty materialne.

2.4.1. Równania ruchu punktu materialnego

Poruszający się nieswobodny punkt materialny, można opisać, w oparciu o drugie prawo Newtona równaniami ruchu.

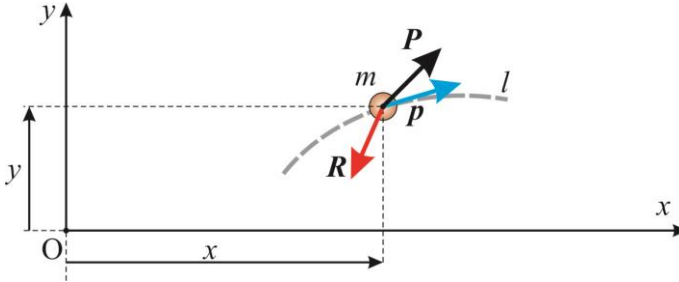


Rys. 2.13. Ruch prostoliniowy punktu o masie m pod działaniem siły P

Jeżeli punkt materialny, będący pod działaniem siły P porusza się po linii prostej (rys. 2.13), a siła P jest skierowana wzdłuż tej prostej, to ruch ten opisuje równanie:

$$\begin{aligned} m\dot{P} &= P, \\ m\ddot{x} &= P, \end{aligned} \quad (2.9)$$

gdzie \ddot{x} – druga pochodna x względem czasu.



Rys. 2.14. Ruch krzywoliniowy punktu w układzie prostokątnym osi x - y

Jeżeli punkt materialny, będący pod działaniem siły \mathbf{P} oraz siły reakcji nałożonych więzów \mathbf{R} , porusza się po dowolnej linii l na płaszczyźnie (rys. 2.14), to ruch ten opisują równania:

$$m\mathbf{p} = \mathbf{P} + \mathbf{R}. \quad (2.10)$$

Równanie wektorowe (2.10) można zastąpić równaniami skalarnymi związanymi z prostokątnym układem osi Oxy :

$$\begin{aligned} m\ddot{x} &= P_x + R_x, \\ m\ddot{y} &= P_y + R_y. \end{aligned} \quad (2.11)$$

gdzie: P_x, R_x – wartości rzutów siły czynnej i reakcji więzów na oś x ,
 P_y, R_y – wartości rzutów siły czynnej i reakcji więzów na oś y .

Równania dynamiczne ruchu punktu materialnego (2.10) można sprowadzić do postaci statycznych równań równowagi, jeżeli zastosujemy zasadę d'Alemberta:

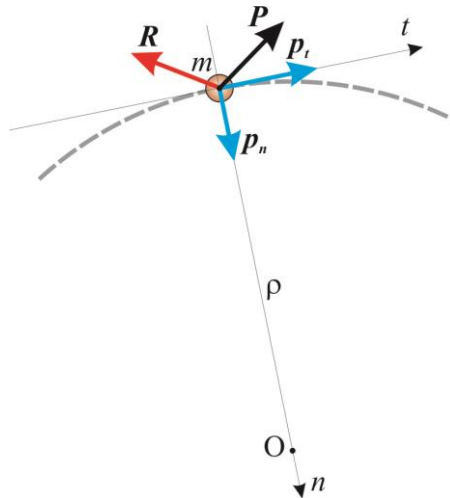
Siły rzeczywiste działające na punkt materialny równoważą się w każdej chwili z siłą bezwładności tego punktu.

Siła bezwładności \mathbf{B} , zwana również siłą d'Alemberta, to siła fikcyjna równa co do wartości iloczynowi masy punktu i przyspieszenia, skierowana przeciwnie do przyspieszenia

$$\mathbf{B} = -m\mathbf{p}.$$

Zgodnie z zasadą d'Alemberta równanie (2.10) przybiera postać:

$$\mathbf{P} + \mathbf{R} + \mathbf{B} = 0.$$



Rys. 2.15. Ruch krzywoliniowy punktu w układzie osi t - n

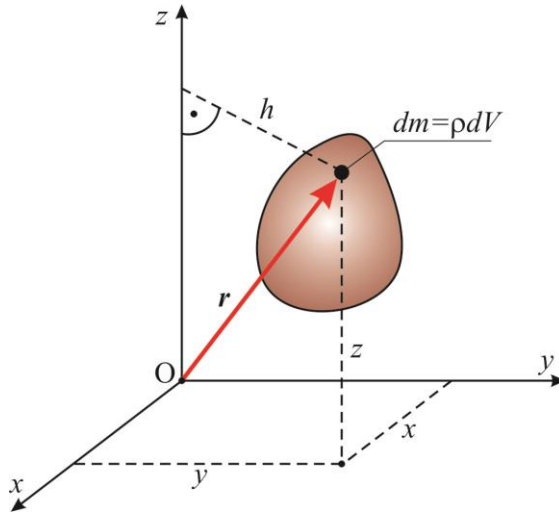
Jeżeli osie układu współrzędnych poprowadzimy wzdłuż stycznej do toru punktu i wzdłuż normalnej (rys. 2.15), to różniczkowe równania ruchu punktu przyjmują postać:

$$\begin{aligned} m p_t &= P_t + R_t, \\ m p_n &= P_n + R_n, \end{aligned} \quad (2.12)$$

gdzie: $p_t(p_t)$ – przyspieszenie styczne punktu,
 $p_n(p_n)$ – przyspieszenie normalne punktu,
 P_t, R_t – wartości rzutów siły czynnej i reakcji więzów na kierunek styczny,
 P_n, R_n – rzuty siły czynnej i reakcji więzów na kierunek normalny,
 ρ – promień krzywizny toru punktu.

2.4.2. Równania ruchu ciała materialnego

Na ruch punktu materialnego mają wpływ siły działające na punkt oraz masa punktu. W przypadku ciała sztywnego istotny jest także rozkład w przestrzeni masy ciała. Każde ciało materialne charakteryzuje się pewnymi wielkościami niezależnymi od jakiegokolwiek układu osi, takimi jak: objętość, masa, położenie środka masy oraz wielkościami obliczonymi w stosunku do przyjętego układu osi, takimi jak: współrzędne środka masy i momenty bezwładności. Aby zdefiniować tę ostatnią wielkość podzielono ciało myślowo na elementy, które można traktować jako punkty materialne, na rys. 2.16 wybrany element posiada masę dm i znajduje się w odległości h od osi z .



Rys. 2.16. Położenie punktu materialnego w przestrzeni

Momentem bezwładności I_z ciała materialnego względem dowolnie obranej osi nazywamy granicę, do której dąży suma iloczynów mas elementów, na które podzielono ciało, przez kwadraty odległości tych elementów od tej osi, gdy liczba elementów dąży do nieskończoności, a ich wymiary do zera

$$I_z = \int_m h^2 dm = \int_V \rho h^2 dV. \quad (2.13)$$

gdzie: dm , dV – masa i objętość wybranego elementu,

\mathbf{r} , x , y , z – wielkości określające położenie wybranego elementu,

h – odległość od osi O_z wybranego elementu,

ρ – gęstość.

Postać równań ruchu ciała zależy od rodzaju ruchu. Poniżej przedstawiono przykłady równań ruchu dla dwu prostych przypadków ruchu ciała.

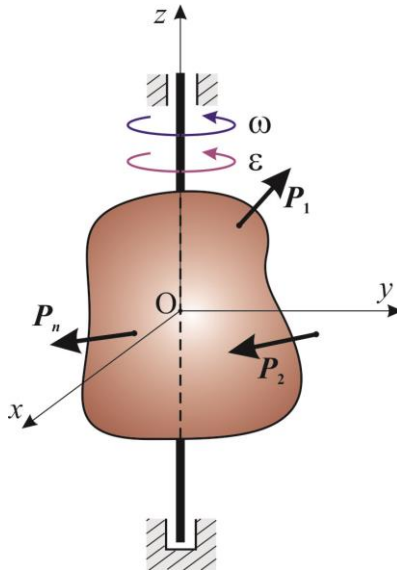
Dynamiczne równanie ruchu obrotowego ciała sztywnego (rys. 2.17) ma postać:

$$I_z \varepsilon = M_z \quad (2.14)$$

gdzie: I_z – moment bezwładności ciała względem osi obrotu,

ε – przyspieszenie kątowe ciała,

M_z – suma momentów względem osi obrotu wszystkich sił zewnętrznych (czynnych i reakcji więzów) działających na ciało.



Rys. 2.17. Ciało sztywne poruszające się ruchem obrotowym

Dynamiczne równania ruchu płaskiego ciała sztywnego mają postać:

$$m p_{C_x} = \sum_{i=1}^{i=n} P_{i_x}, \quad m p_{C_y} = \sum_{i=1}^{i=n} P_{i_y}, \quad I_{z_1} \varepsilon = \sum_{i=1}^{i=n} M_{i_{z_1}}, \quad (2.15)$$

$\sum_{i=1}^{i=n} P_{i_x}$ – suma wartości rzutów sił czynnych i reakcji więzów na oś x ,

$\sum_{i=1}^{i=n} P_{i_y}$ – suma wartości rzutów sił czynnych i reakcji więzów na oś y ,

I_{z_1} – moment bezwładności ciała względem osi z_1 ,

ε – przyspieszenie kątowe ciała,

$\sum_{i=1}^{i=n} M_{i_{z_1}}$ – suma momentów względem osi z_1 wszystkich sił zewnętrznych (czynnych i reakcji więzów) działających na ciało,

p_C – przyspieszenie środka masy (p_{C_x} , p_{C_y} – składowe tego przyspieszenia).

2.4.3. Pęd i kręt punktu materialnego i układu punktów materialnych

W dynamice, charakteryzując ruch ciał, posługujemy się również takimi wielkościami jak *pęd*, czyli ilość ruchu i *kręt*.

Pęd punktu materialnego jest równy iloczynowi masy i prędkości punktu

$$Q = mv. \quad (2.16)$$

Pęd układu punktów materialnych równy jest iloczynowi masy całkowitej układu i prędkości środka masy układu.

$$\mathbf{Q} = m\mathbf{v}_C. \quad (2.17)$$

Zasada zachowania pędu. Pęd układu, na który nie działają żadne siły zewnętrzne, tzw. układu izolowanego, jest wielkością stałą $\mathbf{Q} = \text{const}$.

Krętem punktu materialnego względem nieruchomego bieguna O nazywamy moment pędu tego punktu wyrażony wzorem:

$$\mathbf{K}_O = \mathbf{r} \times m\mathbf{v}, \quad (2.18)$$

gdzie: m , \mathbf{v} , \mathbf{r} – to odpowiednio masa, prędkość i promień wektor punktu.

Krętem układu punktów materialnych względem nieruchomego bieguna O nazywamy moment pędu tego układu wyrażony wzorem:

$$\mathbf{K}_O = \sum_{i=1}^n \mathbf{r}_i \times m_i \mathbf{v}_i. \quad (2.19)$$

gdzie: m_i , \mathbf{v}_i , \mathbf{r}_i – to masa, prędkość i promień wektor i -tego punktu układu.

Kręt ciała materialnego względem osi obrotu równy jest iloczynowi momentu bezwładności względem osi obrotu i prędkości kątowej ciała:

$$K_Z = I_Z \omega. \quad (2.20)$$

Zasada zachowania krętu. Jeżeli momenty sił zewnętrznych układu punktów materialnych względem nieruchomego bieguna O są równe zero, to kręt układu względem tego bieguna nie ulega zmianie.

$$\mathbf{M}_O = 0 \quad \text{to} \quad \mathbf{K}_O = \text{const}. \quad (2.21)$$

W punkcie 2.4.1 przedstawiono zasadę d'Alemberta dla punktu materialnego. Zasada ta jest słuszna również dla układu punktów materialnych:

W czasie ruchu dowolnego układu punktów materialnych siły rzeczywiste działające na układ równoważą się w każdej chwili z odpowiednimi siłami bezwładności.

Powyższe stwierdzenia przedstawione dla układu punktów materialnych, dotyczą również ciała materialnego, ponieważ każde ciało możemy traktować jako graniczny przypadek układu punktów materialnych.

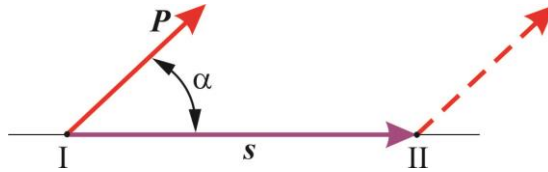
2.4.4. Praca siły i moc siły

Praca siły stałej na prostoliniowym przesunięciu jest definiowana jako iloczyn skalarny wektora siły \mathbf{P} oraz wektora przemieszczenia \mathbf{s} i jej wartość jest równa:

$$L = \mathbf{P} \cdot \mathbf{s},$$

$$L = P s \cos \alpha, \quad (2.22)$$

gdzie: $\alpha \in \langle 0, \pi \rangle$, jest kątem zawartym między wektorami \mathbf{P} i \mathbf{s} , co pokazano na rys. 2.18.



Rys. 2.18. Praca siły na prostoliniowym przesunięciu

Pracy sił wewnętrznych układu nie należy rozpatrywać, ponieważ suma prac sił wewnętrznych układu jest równa zero.

Pracy nie wykonują również następujące siły:

- siły, które nie doznają przemieszczenia, jak np. reakcje więzów w nieruchomych podporach, siły ciężkości nieruchomych elementów,
- momenty, działające na elementy zadania, pozbawione możliwości obrotu, na przykład na elementy utwierdzone,
- siły przyłożone w chwilowym środku obrotu,
- siły przyłożone prostopadle do wektora przemieszczenia (toru ruchu), jak np. reakcja normalna podłoża \mathbf{N} .

Praca momentu \mathbf{M} jest również iloczynem skalarnym i jest równa:

$$L = \mathbf{M} \times \varphi = M \varphi \cos \beta, \quad (2.23)$$

gdzie: kąt β to kąt między wektorami \mathbf{M} i φ .

Jeżeli pracę wykonaną przez siłę odniesiemy do jednostki czasu, to otrzymamy wielkość którą nazywamy **mocą tej siły**. Moc siły N wynosi:

$$N = \frac{dL}{dt} = P \cos \alpha \frac{ds}{dt} = P v \cos \alpha. \quad (2.24)$$

Jednostki pracy i mocy są podane w rozdziale 1 w p. 1.4.

Pole sił

Jeżeli na poruszający się punkt materialny działa pewna siła \mathbf{P} , zależna tylko od położenia tego punktu, to mamy do czynienia z niezależnym od czasu polem wektorowym, które nazywamy **stacjonarnym polem sił**.

Jeżeli każdemu punktowi pola odpowiada taka sama siła, to pole to nazywamy **polem jednorodnym**. Jednorodnym jest pole sił ciężkości.

Zgodnie z definicją pracy siły, praca ta zależy od toru po którym porusza się punkt materialny. Istnieją jednak pola sił, w których praca zależy tylko od położenia początkowego i końcowego i nie zależy od postaci toru punktu. Takie pole nazywamy **połem zachowawczym** lub **połem potencjalnym**, np. pole sił ciężkości. Funkcję skalarną $V(x, y, z)$, której pochodne cząstkowe określone są wzorem 2.25, nazywamy *potencjałem* zachowawczego pola sił:

$$P_x = -\frac{\partial V}{\partial x}, \quad P_y = -\frac{\partial V}{\partial y}, \quad P_z = -\frac{\partial V}{\partial z}, \quad (2.25)$$

gdzie: P_x, P_y, P_z – wartości składowych siły \mathbf{P} .

Pracę siły ciężkości na dowolnym torze, łączącym dwa punkty, obliczymy jako różnicę potencjałów w tych punktach:

$$L = V_1 - V_2 = mgh, \quad (2.26)$$

gdzie h to różnica wysokości punktów.

2.4.5. Energia kinetyczna

Energię kinetyczną ma każdy masowy element posiadający chwilową prędkość. Postać energii kinetycznej zależy od rodzaju elementu (ciało, punkt) oraz charakteru ruchu, wykonywanego przez ten element. I tak:

- energia kinetyczna punktu materialnego lub ciała w ruchu postępowym ma postać:

$$E = \frac{1}{2}mv^2, \quad (2.27)$$

gdzie m jest masą, a v jest liniową prędkością punktu lub ciała,

- energia kinetyczna ciała w ruchu obrotowym wokół osi obrotu z ma postać:

$$E = \frac{1}{2}I_z\omega^2, \quad (2.28)$$

gdzie I_z jest masowym momentem bezwładności ciała względem osi obrotu z , a ω prędkością kątową ciała,

- energia kinetyczna ciała w ruchu płaskim ma postać:

$$E = \frac{1}{2}mv_c^2 + \frac{1}{2}I_C\omega^2, \quad (2.29)$$

gdzie: v_c jest liniową prędkością środka masy, ω – prędkością kątową ciała, a I_C jest masowym momentem bezwładności ciała względem osi obrotu, przechodzącej przez środek C masy ciała.

Przyrost energii kinetycznej zarówno punktu materialnego jak i ciała sztywnego w skończonym przedziale czasu jest równy sumie prac, jakie wykonały w tym samym czasie wszystkie siły działające na punkt materialny lub wszystkie siły zewnętrzne działające na ciało.

$$\Delta E = \sum L. \quad (2.30)$$

Zasada zachowania energii mechanicznej

Gdy na układ punktów materialnych działają siły zachowawcze, wówczas suma energii kinetycznej i potencjalnej tego układu jest wielkością stałą.

Zasada zachowania energii mechanicznej jest słuszna także dla punktu materialnego.

$$E + V = const. \quad (2.31)$$

2.5. Elementy wytrzymałości materiałów

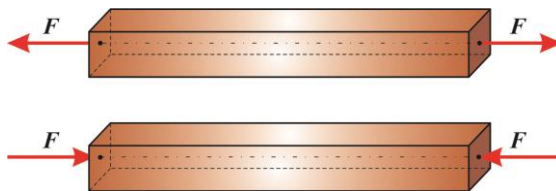
Wytrzymałość materiałów jest działem fizyki, który przede wszystkim zajmuje się analizą rozkładu sił wewnętrznych i odkształceń jakim podlegają **elementy konstrukcji w wyniku** działania obciążeń zewnętrznych. Wytrzymałość materiałów to również nauka o teoretycznych, numerycznych i eksperymentalnych metodach analizy stanu naprężenia i odkształcenia w elementach maszyn i konstrukcji oraz metodach badań własności mechanicznych materiałów.

Analiza stanu naprężenia i odkształcenia badanych elementów pozwala określić stan wyężenia materiału, co w porównaniu z wynikami badań eksperymentalnych własności materiału, z którego wykonano dany element, daje podstawę do oceny pewności pracy danego elementu.

Klasyfikacja obciążeń

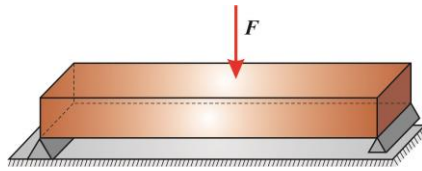
Wyróżniamy cztery podstawowe przypadki tak zwanych prostych obciążeń, które wynikają ze sposobu przyłożenia obciążeń zewnętrznych, a mianowicie:

- 1. Rozciąganie lub ściskanie** – przypadek gdy dwie siły równe co do wartości, przeciwnie skierowane działają wzdłuż osi pręta.



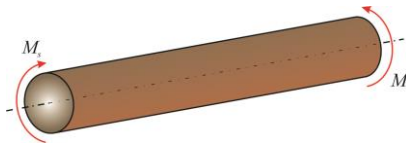
Rys. 2.19. Rozciąganie i ściskanie pręta

2. **Zginanie** – to taki sposób obciążenia elementu konstrukcyjnego, gdy siły zewnętrzne działają prostopadłe do osi elementu nazywanego belką.



Rys. 2.20. Zginanie belki

3. **Skręcanie** pręta jest wywoływane przez dwie pary sił działających w dwóch płaszczyznach prostopadłych do osi pręta.



Rys. 2.21. Skręcanie pręta

Pręty o przekroju kołowym, które przenoszą moc w ruchu obrotowym nazywane są wałami.

Jednoczesne działanie dwóch lub trzech prostych obciążeń daje przypadek wytrzymałości złożonej.

2.6. Rozciąganie i ściskanie

Jeżeli do końców pręta przyłożymy siły F leżące wzdłuż osi i skierowane na zewnątrz to wywołamy czyste rozciąganie (rys. 2.22a), w przeciwnym razie ściskanie. Prosta łącząca środki ciężkości pól powierzchni przekrojów poprzecznych pręta nazywa się osią pręta.

Rozpatrywany pręt pryzmatyczny podzielimy myślowo na dwie części A i B (rys. 2.22b) to na powierzchni przecięcia wystąpią siły, które utrzymują pręt jako jedną całość. Są to wewnętrzne siły spójności. Siły spójności przypadające na jednostkę powierzchni nazywamy naprężeniem i oznaczamy grecką literą σ (sigma).

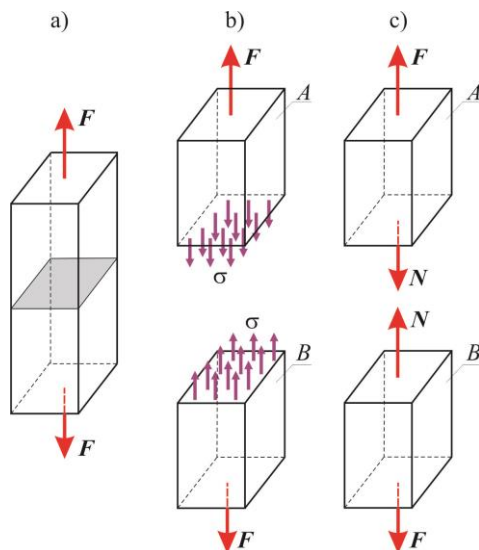
Naprężenie w dowolnym punkcie ciała jest to granica do której dąży iloraz elementarnej siły wewnętrznej ΔF do elementu powierzchni ΔA

$$\sigma = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \frac{\Delta F}{\Delta A} [MPa] \quad (2.32)$$

Jeżeli na powierzchni podziału zsumujemy wszystkie siły spójności to otrzymamy wypadkową N zwaną siłą normalną, która równa jest sumie rzutów,

na oś pręta, wszystkich sił zewnętrznych działających na jedną odciętą część pręta. Naprężenia w rozpatrywanym przekroju pręta rozciąganego wynoszą:

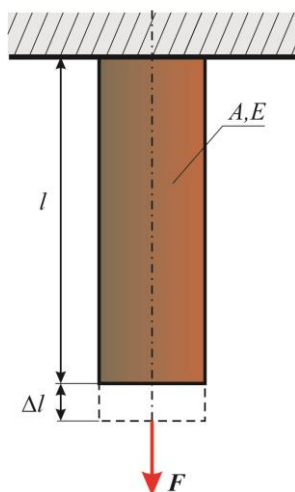
$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (2.33)$$



Rys. 2.22. Rozciąganie. Siły wewnętrzne

2.6.1. Prawo Hooke'a

Rozpatrzmy pręt pryzmatyczny pokazany na rys. 2.23 rozciągany siłą F .



Rys. 2.23. Pręt poddany rozciąganiu

Wydłużenie pręta rozciąganego określone jest prawem Hooke'a: przyrost długości Δl pryzmatycznego pręta rozciąganego, w pewnym obszarze odkształceń, jest wprost proporcjonalny do wartości siły rozciągającej F i do długości początkowej pręta l , a odwrotnie proporcjonalny do pola przekroju poprzecznego A :

$$\Delta l = \frac{Fl}{EA}, \quad (2.34)$$

gdzie: Δl – przyrost długości [mm],
 F – siła rozciągająca [N],
 l – długość próbki [mm],
 A – pole powierzchni przekroju poprzecznego [mm²],
 E – moduł Younga, moduł sprężystości wzdłużnej, stała materiałowa [MPa].

Wartość wydłużenia zależy od rodzaju materiału z jakiego wykonano pręt, stąd w mianowniku wzoru mamy stałą materiałową E nazywaną modułem Younga.

Jeśli wprowadzimy oznaczenia:

$$\sigma = \frac{F}{A} \left[\frac{N}{mm^2} = MPa \right] - \text{naprężenia przy rozciąganiu,}$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l} - \text{odkształcenie względne lub jednostkowe,}$$

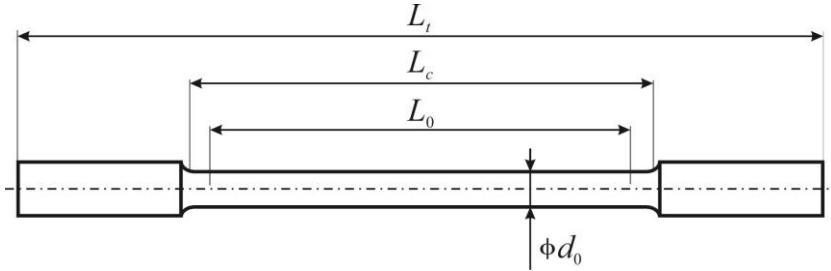
wtedy prawo Hooke'a opisane wzorem (2.34) możemy zapisać w postaci:

$$\sigma = \varepsilon E. \quad (2.35)$$

2.6.2. Wykres rozciągania

Podstawową próbą badania materiałów konstrukcyjnych jest próba rozciągania wykonywana w celu wyznaczenia następujących wielkości wytrzymałościowych: *wytrzymałości na rozciąganie, granicy plastyczności, wydłużenia, przewężenia i modułu Younga.*

Próby rozciągania są przeprowadzane na maszynach wytrzymałościowych nazywanych zrywarkami. Próba polega na osiowym rozciąganiu próbek o ściśle określonych kształtach, zazwyczaj o przekroju kołowym. Próba ta przeprowadzana jest zgodnie z odpowiednimi normami przedmiotowymi. W konstrukcjach mechanicznych najczęściej używanym materiałem jest stal. Dla stali podstawowymi rodzajami próbek są *próbki o przekroju poprzecznym kołowym z główkami do chwytania w szczęki* (rys. 2.24) oraz *próbki płaskie.*



Rys. 2.24. Próbką o kołowym przekroju poprzecznym
(L_0 – początkowa długość pomiarowa próbki, L_c – długość robocza próbki,
 L_t – całkowita długość próbki)

Zalecane są próbki proporcjonalne, dla których długość pomiarowa

$$L_0 = 5d_0. \quad (2.36)$$

Próbkę tę nazywa się także *próbką pięciokrotną*.

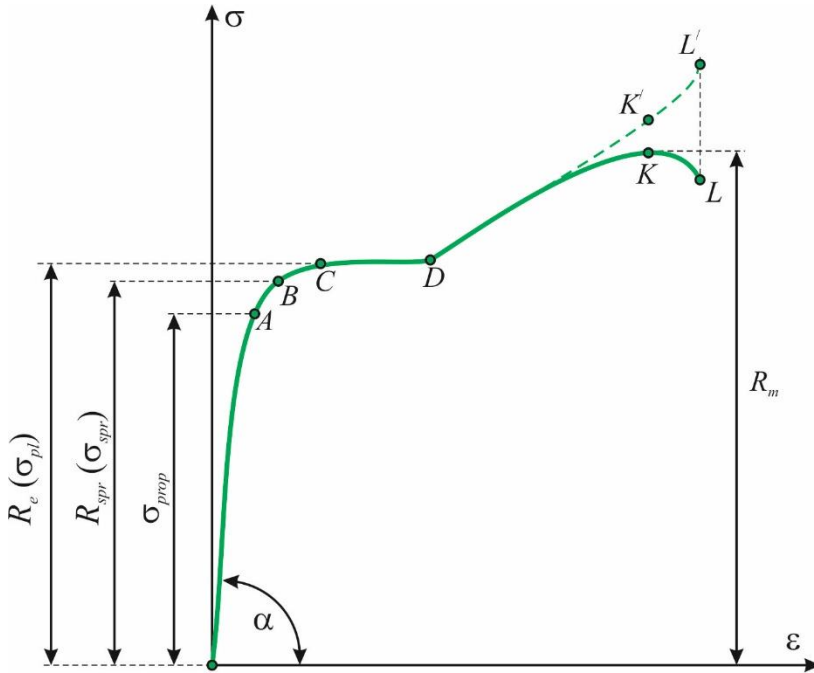
W trakcie wykonywania próby rozciągania otrzymujemy wykres: siła F rozciągająca próbkę w funkcji wydłużenia próbki Δl . Wykres $F - \Delta l$ nazywamy wykresem rozciągania. Kształt tego wykresu zależy od rodzaju materiału z jakiego wykonano próbkę. Wykres rozciągania stali niskowęglowej przedstawiono na rysunku 2.25. Naprężenia można obliczyć jako iloraz siły F występującej w czasie próby rozciągania przez pole przekroju początkowego A_0 . Odkształcenia względne ε otrzymamy zaś dzieląc przyrost długości Δl przez długość początkową próbki L_0 . Wykres naprężeń rzeczywistych wynikających z podzielenia siły rozciągającej przez pole powierzchni bieżącego przekroju (linia przerywana na tym wykresie) pokazano na rys. 2.25.

Na początku próby wydłużenie rośnie wprost proporcjonalnie do siły obciążającej (linia prosta od początku wykresu do naprężeń σ_{prop}). Siłę tej odpowiadają naprężenia zwane granicą proporcjonalności, czyli stosowalności prawa Hooke'a.

Na wykresie rozciągania rys. 2.25 zaznaczono podstawowe własności wytrzymałościowe określone podczas próby rozciągania. Definicje tych wielkości podano poniżej.

Granica proporcjonalności σ_{prop} lub R_{prop} (*granica stosowalności prawa Hooke'a*) jest to taka graniczna wartość naprężenia, do której osiągnięcia przyrostom wydłużenia jednostkowego odpowiadają proporcjonalne przyrosty naprężeń, czyli $\Delta\sigma / \Delta\varepsilon = const$. Granica proporcjonalności określona jest wzorem:

$$R_{prop} = \frac{F_{prop}}{A_0} \quad [\text{MPa}]. \quad (2.37)$$



Rys. 2.25. Wykres rozciągania stali niskowęglowej

Granica sprężystości R_{spr} jest to największa wartość naprężenia nie powodującego powstania w próbce odkształceń trwałych. Określona jest wzorem:

$$R_{spr} = \frac{F_{spr}}{A_0} \quad [\text{MPa}] \quad (2.38)$$

Wyrażna granica plastyczności R_e jest to naprężenie, po którego osiągnięciu następuje wyraźny wzrost wydłużenia rozciąganej próbki bez wzrostu lub nawet przy spadku obciążenia; granica ta określona jest wzorem:

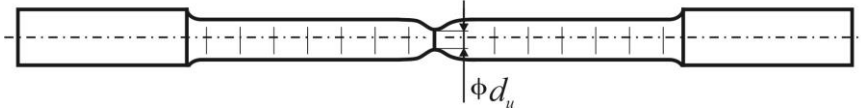
$$R_e = \frac{F_e}{A_0} \quad [\text{MPa}] \quad (2.39)$$

gdzie F_e [N] jest siłą obciążającą, odpowiadającą *granicy plastyczności*.

Wytrzymałość na rozciąganie jest to naprężenie odpowiadające największej sile uzyskanej w czasie próby rozciągania, odniesionej do przekroju początkowego próbki. Określona jest wzorem:

$$R_m = \frac{F_m}{A_0} \quad [\text{MPa}] \quad (2.40)$$

gdzie F_m [N] jest największą siłą rozciągającą uzyskaną w czasie próby rozciągania, odczytaną na siłomierzu maszyny wytrzymałościowej, A_0 [mm²] – polem powierzchni przekroju początkowego próbki.



Rys. 2.26. Próбка po zerwaniu

Po przekroczeniu siły maksymalnej, przy dalszym wzroście wydłużenia, w najsłabszym miejscu próbka zaczyna się przewężać (rys. 2.26). Formuje się tzw. szyjka i próbka pęka.

Po zerwaniu próbki można wyznaczyć własności plastyczne materiału, tzw. wydłużenie i przewężenie.

Wydłużenie procentowe po rozerwaniu jest to iloraz trwałego przyrostu długości pomiarowej po zerwaniu próbki do długości pomiarowej próbki, wyrażony w procentach:

$$A = \frac{L_u - L_0}{L_0} \cdot 100\%, \quad (2.41)$$

gdzie: L_u [mm] jest długością pomiarową po zerwaniu, L_0 [mm] jest pierwotną długością pomiarową próbki

Przewężenie procentowe jest to iloraz zmniejszenia pola powierzchni przekroju poprzecznego próbki w miejscu zerwania do pola powierzchni jej przekroju początkowego, wyrażony w procentach:

$$Z = \frac{A_0 - A_u}{A_0} \cdot 100\%, \quad (2.42)$$

gdzie: A_u [mm²] jest polem powierzchni przekroju próbki po zerwaniu.

Dla próbek o przekroju kołowym wzór (2.42) można doprowadzić do postaci:

$$Z = \left[1 - \left(\frac{d_u}{d_0} \right)^2 \right] \cdot 100\%, \quad (2.43)$$

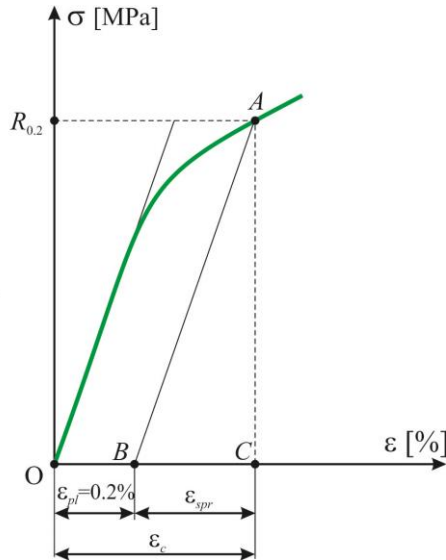
gdzie: d_0 oraz d_u oznaczają odpowiednio pierwotną średnicę próbki oraz średnicę próbki w miejscu zerwania.

Stale wysokowęglowe, stopowe i materiały kruche nie mają wyraźnej granicy plastyczności. Dla materiałów, które nie wykazują wyraźnej granicy plastyczności wprowadzono pojęcie umownej granicy plastyczności $R_{0.2}$.

Umowna granica plastyczności $R_{0,2}$ jest to naprężenie, które wywołuje trwałe wydłużenie próbki równe 0.2% jej początkowej długości pomiarowej. Określona jest wzorem:

$$R_{0,2} = \frac{F_{0,2}}{A_0} \quad [\text{MPa}]. \quad (2.44)$$

Wykres rozciągania takich materiałów przedstawia przykładowo rys. 2.27.



Rys. 2.27. Określenie umownej granicy plastyczności

2.6.3. Naprężenia dopuszczalne

Element konstrukcyjny poddany rozciąganiu (ściskaniu) powinien pracować bezpiecznie, to oznacza, że σ nie może przekroczyć pewnej granicznej wartości naprężeń, którą dla każdego rodzaju materiału wyznacza się doświadczalnie. Wartość tę oznacza się przez k_r (k_c), nazywa się naprężeniem dopuszczalnym na rozciąganie (ściskanie).

Naprężenie dopuszczalne na rozciąganie określone jest następująco:

$$k_r = \frac{R_e}{n_e} \quad (2.45)$$

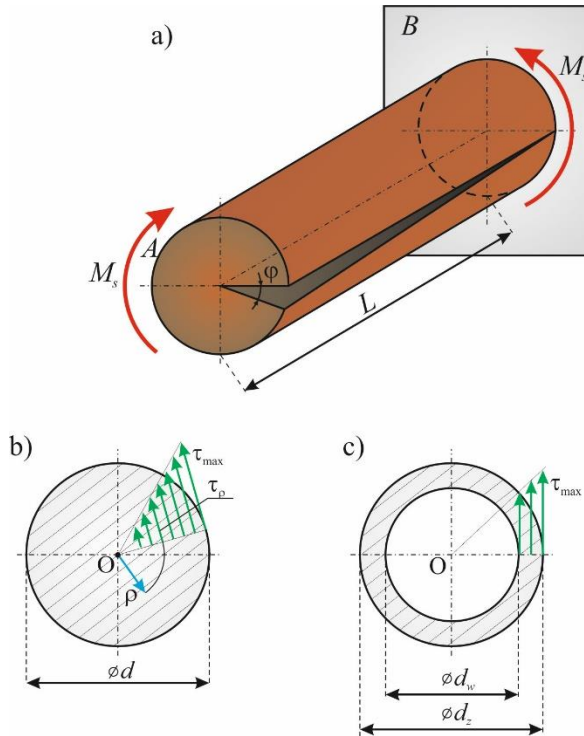
lub

$$k_r = \frac{R_m}{n_m}, \quad (2.46)$$

gdzie: k_r – naprężenia dopuszczalne,
 R_e – granica plastyczności,
 R_m – wytrzymałość na rozciąganie,
 n_e – współczynnik bezpieczeństwa w odniesieniu do granicy plastyczności,
 n_m – współczynnik bezpieczeństwa w odniesieniu do wytrzymałości na rozciąganie.

2.7. Skręcanie

Rozważmy pręt o osi prostoliniowej i przekroju kołowym utwierdzony na jednym końcu (w przekroju B), którego długość równa jest L , a średnica wynosi d (rys. 2.28). Pręt poddany skręcaniu momentem skręcającym M_s przyłożonym w przekroju A .



Rys. 2.28. Odkształcenia i naprężenia w pręcie skręcanym

Po uwolnieniu z więzów w przekroju B mówimy, że pręt (nazywany wałem) podlega czystemu skręcaniu. Rozkład naprężeń stycznych w przekroju poprzecznym takiego pręta dla pełnego przekroju kołowego i rurowego przedstawiono na rys. 2.28.b i c. W dowolnej odległości ρ od środka przekroju poprzecznego (punkt O) naprężenia τ_ρ obliczamy ze wzoru:

$$\tau_{\rho} = \frac{M_s}{I_0} \rho, \quad (2.47)$$

gdzie I_0 oznacza biegunowy moment bezwładności przekroju poprzecznego względem środka ciężkości przekroju, a M_s jest momentem skręcającym obciążającą rozpatrywany przekrój. I_0 dla przekroju pełnego wynosi $I_0 = \pi d^3/32$.

Aby wał mógł bezpiecznie pracować, największe naprężenie występujące na krawędzi przekroju musi spełniać warunek wytrzymałościowy na skręcanie:

$$\tau_{\max} = \frac{M_s}{W_0} \leq k_s \quad (2.48)$$

k_s oznacza naprężenia dopuszczalne na skręcanie, a W_0 nosi nazwę wskaźnika wytrzymałości na skręcanie i wynosi:

$$W_0 = \frac{I_0}{\frac{1}{2}d} = \frac{\pi d^3}{16}. \quad (2.49)$$

W przypadku wału drażonego (rys. 2.28c) wielkości J_0 oraz W_0 przyjmują odpowiednio wartości:

$$I_0 = \frac{\pi}{32}(d_z^4 - d_w^4), \quad (2.50)$$

$$W_0 = \frac{\pi}{16d_z}(d_z^4 - d_w^4). \quad (2.51)$$

Podczas skręcania przekrój A obraca się względem przekroju B o kąt skręcania φ , który w przypadku (jak na rys. 2.28) gdy stałe są moment skręcający M_s , średnica d (a więc moment biegunowy I_0) oraz moduł sprężystości postaciowej materiału G , obliczamy ze wzoru:

$$\varphi = \frac{M_s L}{GI_0}. \quad (2.52)$$

Iloczyn GI_0 nosi nazwę sztywności wału na skręcanie.

W przypadku, gdy skręcanie wału często pochodzi od silnika o mocy N w kilowatach (kW) oraz prędkości obrotowej wirnika n w obrotach na minutę, moment skręcający w niutonometrach wyznaczamy ze wzoru:

$$M[Nm] = 9550 \frac{N[kW]}{n[obr / min]}. \quad (2.53)$$

2.8. Momenty bezwładności figur płaskich

Do obliczeń wytrzymałościowych potrzebne są wielkości geometryczne charakteryzujące przekrój, takie jak:

- pole przekroju poprzecznego A ,
- moment statyczny przekroju względem osi S_y, S_z ,
- biegunowy moment bezwładności (względem punktu) I_0 ,
- moment bezwładności względem osi I_y, I_z .

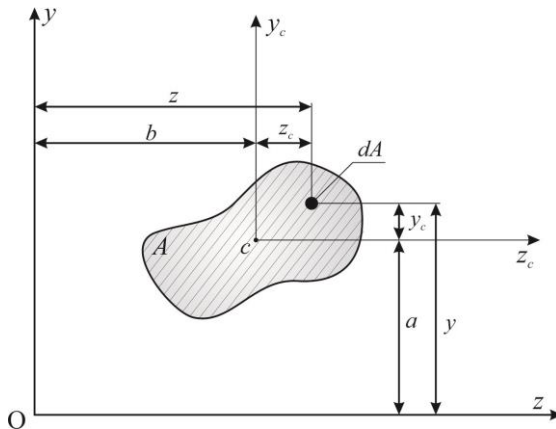
Momentem statycznym figury płaskiej względem osi nazywamy sumę iloczynów elementarnych pól dA przez odległości środków ciężkości tych pól od danej osi, to znaczy:

$$S_y = \int_A z dA, \quad S_z = \int_A y dA \quad (2.54)$$

we wzorze (2.54) S_y, S_z oznaczają momenty statyczne pola o przekroju A względem osi y oraz z .

Moment statyczny względem osi centralnej y_c lub z_c (patrz rys. 2.29) jest równy zeru.

Uwaga: osią centralną jest każda oś przechodząca przez środek ciężkości przekroju.

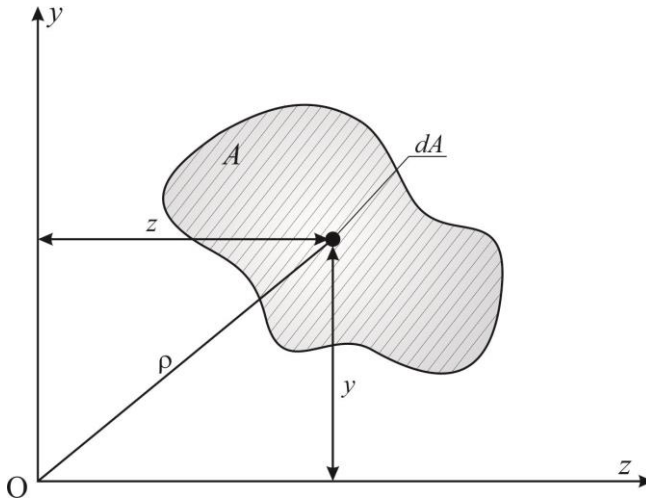


Rys. 2.29. Definicja momentu statycznego i bezwładności względem osi

Biegunowym momentem bezwładności (moment bezwładności względem punktu) figury płaskiej nazywamy sumę iloczynów elementarnych pól dA przez kwadraty odległości środków ciężkości tych pól od danego punktu. Biegunowy moment obliczamy ze wzoru (rys. 2.30)

$$J_0 = \int_A \rho^2 dA \quad (2.55)$$

moment biegunowy jest zawsze wartością dodatnią.



Rys. 2.30. Definicja momentu bezwładności względem bieguny

Momentem bezwładności przekroju względem osi nazywamy sumę iloczynów elementarnych pól dA przez kwadrat odległości środków ciężkości tych pól od danej osi (patrz rys. 2.30).

$$J_y = \int_A z^2 dA \quad (2.56)$$

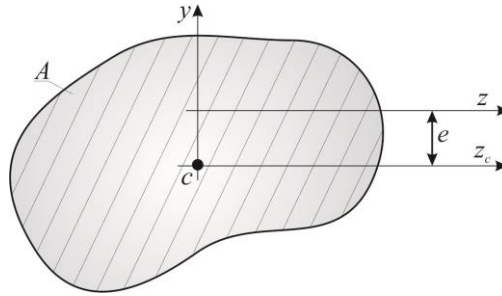
$$J_z = \int_A y^2 dA. \quad (2.57)$$

Z definicji momentu wynika, że momenty bezwładności osi są zawsze wartościami dodatnimi.

Twierdzenie Steinera w przypadku równoległego przesunięcia osi (rys. 2.31) korzystamy z twierdzenia Steinera

$$J_z = J_{z_c} + Ae^2, \quad (2.58)$$

gdzie: J_{z_c} – jest momentem bezwładności przekroju względem centralnej osi z_c ,
 J_z – moment bezwładności względem dowolnej osi z , ale równoległej do osi z_c ,
 A – pole przekroju poprzecznego,
 e – odległość między osiami.



Rys. 2.31. Sformowanie wzoru Steinera

Związek między momentem biegunowym i momentem względem osi.

Zgodnie z twierdzeniem Pitagorasa (patrz rys. 2.30) można napisać

$$y^2 + z^2 = \rho^2.$$

po podstawieniu do (2.55), otrzymujemy

$$J_0 = \int_A (y^2 + z^2) dA = \int_A y^2 dA + \int_A z^2 dA = J_y + J_z \quad (2.59)$$

a więc moment bezwładności względem punktu jest równy sumie momentów bezwładności względem dwóch osi prostopadłych przechodzących przez ten punkt.

Wartości momentów bezwładności dla typowych figur podano w tabeli 2.2.

2.9. Zginanie płaskie

Belką nazywamy element konstrukcyjny, którego długość jest wielokrotnie większa od wymiarów przekroju poprzecznego, obciążony siłami prostopadłymi do osi belki.

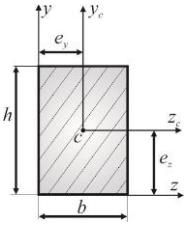
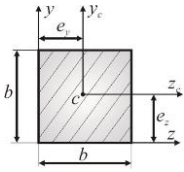
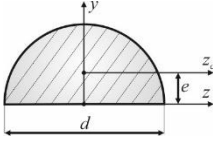
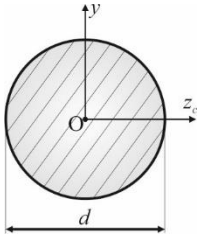
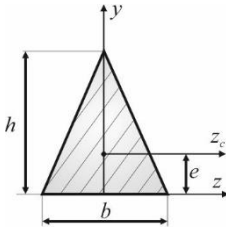
Przypadek zginania płaskiego występuje wtedy, gdy obciążenie belki działa w płaszczyźnie zawierającej oś belki oraz jedną z głównych osi bezwładności przekroju poprzecznego.

2.9.1. Siły wewnętrzne w belce zginanej

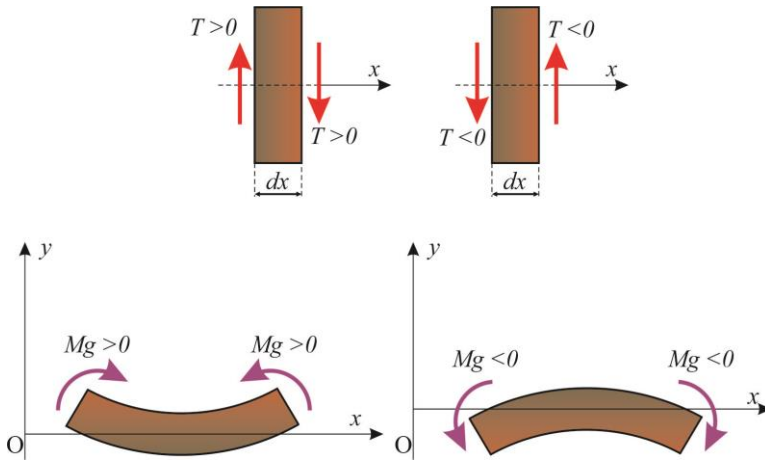
Siła tnąca – w rozpatrywaniu przekroju belki jest to siła wewnętrzna prostopadła do osi belki, równa sumie rzutów wszystkich sił, działających po jednej stronie rozpatrywanego przekroju, na oś prostopadłą do osi belki.

Moment gnący (zginający) – w rozpatrywanym przekroju belki jest to siła wewnętrzna równa sumie momentów wszystkich sił, działających po jednej stronie rozpatrywanego przekroju, względem osi prostopadłej do płaszczyzny zginania przechodzącej przez środek ciężkości rozpatrywanego przekroju.

Tablica 2.2. Wartości momentów bezwładności kilku typowych figur płaskich

Przekrój	e_y, e_z, e	J_y, J_z	J_{yc}	J_{zc}
<p>Prostokąt</p> 	$e_y = \frac{h}{2}$ $e_z = \frac{b}{2}$	$J_y = \frac{hb^3}{3}$ $J_z = \frac{bh^3}{3}$	$J_{yc} = \frac{hb^3}{12}$	$J_{zc} = \frac{bh^3}{12}$
<p>Kwadrat</p> 	$e_y = e_z = \frac{b}{2}$	$J_y = J_z = \frac{b^4}{3}$	$J_{yc} = J_{zc} = \frac{b^4}{12}$	
<p>Półkole</p> 	$e = \frac{4r}{3\pi} = 0,425r$	$J_z = \frac{\pi d^4}{128} = \frac{\pi r^4}{8}$	$J_{yc} = \frac{\pi r^4}{8}$	$J_{zc} = 0,11r^4$
<p>Koło</p> 		$J_0 = \frac{\pi d^4}{32} = \frac{\pi r^4}{2}$ $J_{yc} = J_{zc} = \frac{\pi d^4}{64} = \frac{\pi r^4}{4}$		
<p>Trójkąt</p> 	$e = \frac{h}{3}$	$J_z = \frac{bh^3}{12}$	$J_{yc} = \frac{hb^3}{48}$	$J_{zc} = \frac{bh^3}{36}$

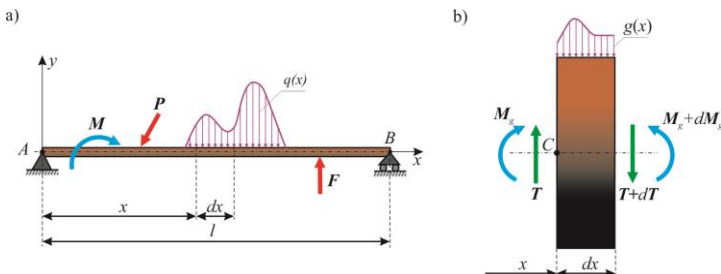
Przyjmujemy umowę co do znaku siły tnącej i momentu gnącego (rys. 2.32).



Rys. 2.32. Określenie znaków momentów gnących M_g i sił tnących T

2.9.2. Związek między siłą tnącą T i momentem gnącym M_g oraz obciążeniem ciągłym q

Rozważmy belkę o długości l obciążoną jak pokazano na rys. 2.33a. Następnie rozpatrzmy elementarny odcinek belki o długości dx (rys. 2.33b).



Rys. 2.33. Siły wewnętrzne w belce zginanej

Z warunków równowagi dla elementarnego odcinka belki o długości dx (rys. 2.33b) określamy zależność pomiędzy siłą tnącą T , momentem gnącym M_g i obciążeniem ciągłym q .

Siła tnąca w rozpatrywanym przekroju jest równa pochodnej momentu gnącego względem długości:

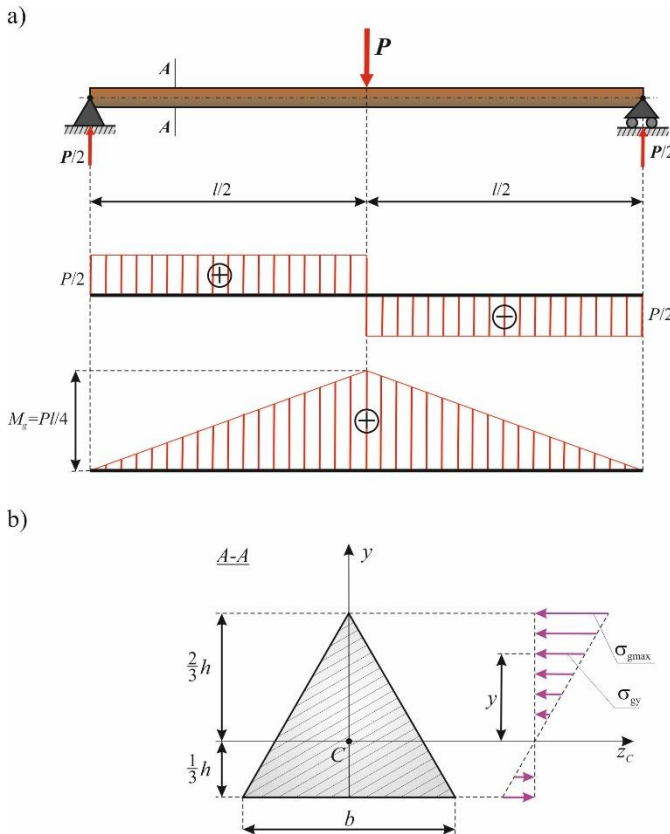
$$T = \frac{dM_g}{dx}, \quad (2.60)$$

a związek między siłą tnącą, momentem gnącym i obciążeniem ciągłym ma postać:

$$q = -\frac{dT}{dx} = -\frac{d^2M_g}{dx^2}. \quad (2.61)$$

2.9.3. Naprężenia przy zginaniu. Warunek wytrzymałościowy

Rozpatrzmy przykładowo belkę podpartą na dwóch podporach pokazaną na rys. 2.34a. Długość belki równa jest l , belka obciążona jest siłą skupioną w środku rozpiętości. Dla rozpatrywanej belki sporządzono wykresy sił tnących T i momentów gnących M_g (rys. 2.34a). Przyjęto, że przekrój poprzeczny belki ma kształt trójkąta o wymiarach $b \times h$, (rys. 2.34b).



Rys. 2.34. Naprężenia przy zginaniu

Wartość naprężeń normalnych w odległości y od środka ciężkości C przekroju poprzecznego (od płaszczyzny obojętnej) określone są zależnością:

$$\sigma_{gy} = \frac{M_g}{I_{z_c}} \cdot y. \quad (2.62)$$

Naprężenia maksymalne w warstwach (o współrzędnej y_{max}) najdalej oddalonych od środka ciężkości C wynoszą:

$$\sigma_{g \max} = \frac{M_{g \max}}{I_{z_c}} \cdot y_{\max} \quad (2.63)$$

Warunek wytrzymałościowy przy zginaniu ma postać:

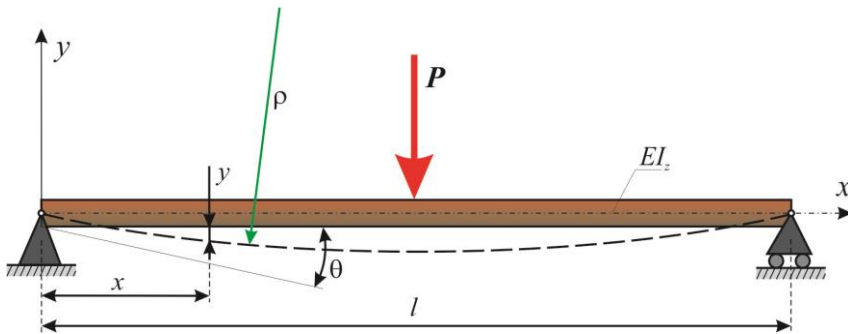
$$\sigma_{g \max} = \frac{|M_{g \max}|}{W_z} \leq kg, \quad (2.64)$$

gdzie kg – naprężenia dopuszczalne przy zginaniu, a W_z oznacza wskaźnik przekroju lub wskaźnik wytrzymałości przy zginaniu, który jest równy:

$$W_z = \frac{I_{z_c}}{y_{\max}}. \quad (2.65)$$

2.10. Linia ugięcia belek

Charakterystyczne wielkości, które określają odkształcenie belki jako elementu konstrukcyjnego to ugięcie y (strzałka ugięcia) oraz kąt ugięcia θ w określonym punkcie belki.



Rys. 2.35. Odkształcenia belki zginanej

Wielkości te można wyznaczyć kilkoma metodami, w zakresie naprężeń w belce nieprzekraczających granicy proporcjonalności, korzystając zazwyczaj z równania różniczkowego linii ugięcia belki:

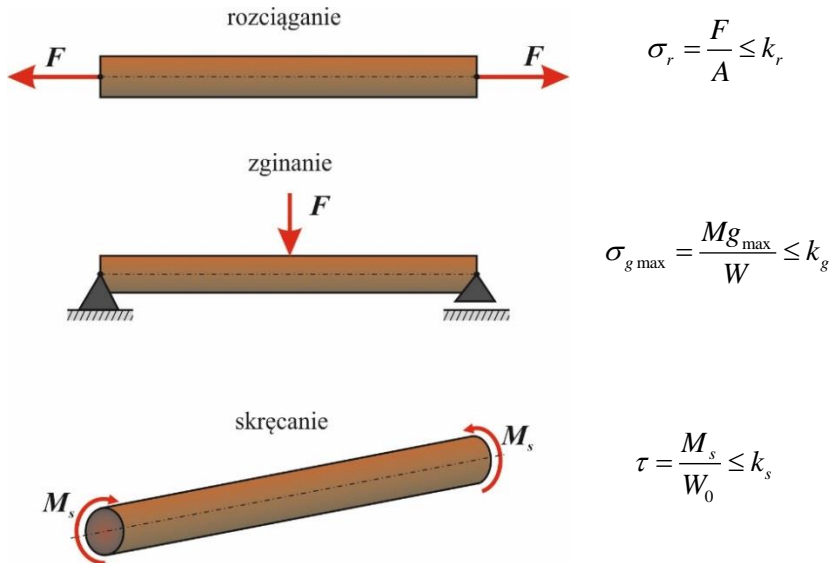
$$EJ_z \frac{d^2 y}{dx^2} = M_{gx}. \quad (2.66)$$

Równanie (2.66) dla wyznaczania wielkości y i θ należy całkować stronami.

Wartości ugięć i kątów ugięcia dla typowych podstawowych przypadków obciążenia i podparcia belek można znaleźć w poradnikach i podręcznikach.

2.11. Wytrzymałość złożona

Dla prostych przypadków obciążenia można wyznaczyć podczas badań doświadczalnych własności materiałowe, a następnie określić dopuszczalne naprężenia k_r , k_g , k_s . W ten sposób dla przypadków rozciągania, ściskania, skręcania łatwo sformułować odpowiednie warunki wytrzymałościowe jak pokazano na rys. 2.36.

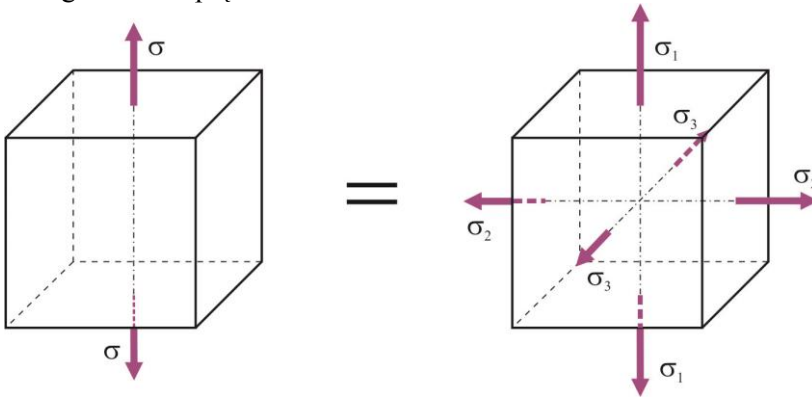


Rys. 2.36. Proste przypadki obciążenia i odpowiednie warunki wytrzymałościowe

W rzeczywistych konstrukcjach najczęściej występuje jednoczesne działanie sił wzdłuż osi elementu, sił prostopadłych do osi oraz momentów skręcających, co powoduje, że element konstrukcyjny jest w złożonym stanie naprężenia. Mówimy, że w takim przypadku mamy do czynienia z wytrzymałością złożoną, a stan naprężenia nazywamy złożonym albo przestrzennym lub trójkierunkowym (rys. 2.37).

Przeprowadzenie badań doświadczalnych złożonych stanów naprężenia w celu określenia wytrzymałości materiału byłoby bardzo czasochłonne i kosztowne. Dlatego też opracowano na drodze teoretycznej oraz potwierdzono badaniami doświadczalnymi wiele hipotez wytrzymałościowych (wytrzymałościowych), których celem była redukcja złożonego stanu naprężenia do stanu jednokierunkowego.

W opracowanych hipotezach wyężeniowych określa się tzw. naprężenia zredukowane, najczęściej zależne od naprężeń głównych $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ wyznaczone dla złożonego stanu naprężenia.



Rys. 2.37. Elementarne kostki w:

a) w jednokierunkowym, b) trójkierunkowym stanie naprężenia

Naprężenie zredukowane to takie umowne naprężenia otrzymane po zastosowaniu przyjętej hipotezy wytrzymałościowej (wyężeniowej) dla danego trójkierunkowego (złożonego) stanu naprężeń, które jest równoważne z naprężeniem przy zwykłym (jednokierunkowym) rozciąganiu (rys. 2.37).

Hipotezy wytrzymałościowe

Określono wiele hipotez wytrzymałościowych w zależności od rodzaju materiału. Dwie najpopularniejsze, najczęściej stosowane to:

- a) hipoteza maksymalnych naprężeń stycznych (τ_{max}); według tej hipotezy o zniszczeniu materiału decydują największe naprężenia tnące (styczne), a warunek wytrzymałościowy ma postać:

$$\sigma_x = \sigma_1 - \sigma_3 \leq k_r \quad (2.67)$$

- b) hipoteza H.M.H. (Hubera-Misesa-Henckye'go); mówi ona o tym, że o zniszczeniu materiału decyduje energia odkształcenia postaciowego, według tej hipotezy:

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{1}{2}[(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2]} \leq k. \quad (2.68)$$

W przypadku jednoczesnego działania naprężeń normalnych i stycznych (przypadek jednoczesnego zginania i skręcania) wyrażenia na naprężenia zredukowane obliczone według wymienionych hipotez, mają postać:

a) dla hipotezy τ_{max} :

$$\sigma_{zr} = \sqrt{\sigma^2 + 4\tau^2} \leq k_r, \quad (2.69)$$

b) w przypadku hipotezy Hubera:

$$\sigma_{zr} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leq k_r, \quad (2.70)$$

Literatura

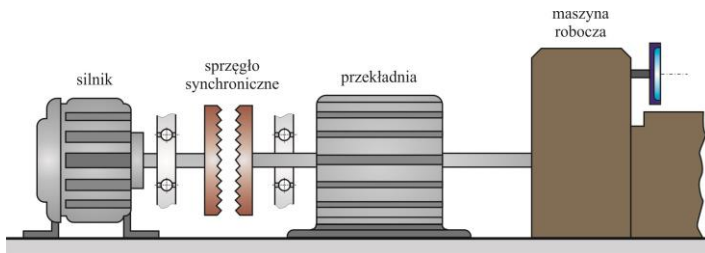
- [1] **Leyko J.**, *Mechanika ogólna*. Tom 1 i 2. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2012.
- [2] **Kazimierska-Grębosz M., Polka A.**, *Zadania z mechaniki ogólnej*, Seria Wydawnictw Dydaktycznych Wydziału OiZ, Politechnika Łódzka, Łódź 2005.
- [3] **Niezgodziński T.**, *Mechanika ogólna*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2002.
- [4] **Misiak J.**, *Mechanika ogólna*. Tom 1 i 2, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 2013.
- [5] **Tomaszewski Z.**, *Wprowadzenie do techniki*. Wydawnictwo Politechnika Poznańskiej, Poznań 2002.
- [6] **Niezgodziński M. E., Niezgodziński T.**, *Wytrzymałość materiałów*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2000.

3. WYBRANE ZAGADNIENIA PROJEKTOWO-KONSTRUKCYJNE

3.1. Elementy maszyn

Definicje maszyny według dyrektywy maszynowej, jako przetwornika masy, energii i informacji podano w rozdziale 1.3. Podano tam również podział maszyn wynikający z cybernetycznego ujęcia definicji maszyny. Ze względu na podstawową rolę maszyn dzielimy je na [1]:

- silniki, które pobierają energię z zewnętrznego źródła i przetwarzają ją na energię mechaniczną potrzebną do napędu innych maszyn;
- maszyny robocze, które pobierają energię mechaniczną od silnika i przetwarzają ją na użyteczną pracę, jak to pokazano na rysunku 3.1. Jest to możliwe dzięki zastosowaniu sprzęgła, które umożliwia łączenie w całość zespołu maszynowego złożonego z silnika, przekładni i maszyny roboczej.



Rys. 3.1. Ogólny schemat napędowy zespołu maszynowego

Maszyny robocze zależnie od funkcji dzielą się na:

- transportowe służące do zmiany położenia ciał stałych, cieczy i gazów (np. samochody, samoloty, statki itp.);
- maszyny technologiczne (produkcyjne) służące do przetwarzania półfabrykatów (np. obrabiarki, maszyny górnicze, maszyny hutnicze itp.).

Przetwarzanie energii odbywa się w silniku za pośrednictwem czynnika roboczego. Nośnikami energii mogą być gaz, para wodna, woda. Zależnie od sposobu wykorzystania energii rozróżnia się silniki wyporowe (w tym tłokowe) i przepływowe (w tym wirnikowe). Wymienione cechy stanowią podstawę podziału, ważną z punktu widzenia tendencji rozwojowych współczesnej techniki. Postęp techniczny w budowie maszyn energetycznych zmierza obecnie w kierunku rozwoju bardziej efektywnych maszyn wirowych. Maszyny tłokowe znajdują powszechne zastosowanie w budowie silników spalinowych, pomp, sprężarek małej i średniej mocy oraz w napędach hydraulicznych.

Wiedza na ten temat umożliwi projektantowi opracować taką konstrukcję, która najlepiej odpowiada potrzebom klienta i będzie charakteryzować się odpowiednimi wskaźnikami techniczno-eksploatacyjnymi. Podstawowa zasada działania maszyn energetycznych oparta jest na wykorzystaniu różnych przemian energetycznych [1]. Oprócz pokazanego łańcucha przemian możliwe są również bezpośrednie drogi przejścia, pomijające pewne ogniwa, na przykład przetwarzanie energii chemicznej paliwa w energię elektryczną. Stosowane są także przejścia w kierunku przeciwnym, na przykład urządzenia chłodnicze, wymienniki ciepła itp.

Ważne z punktu widzenia konstruowania maszyn są elementy maszyn, czyli niepodzielne składowe ich części, które dzieli się na:

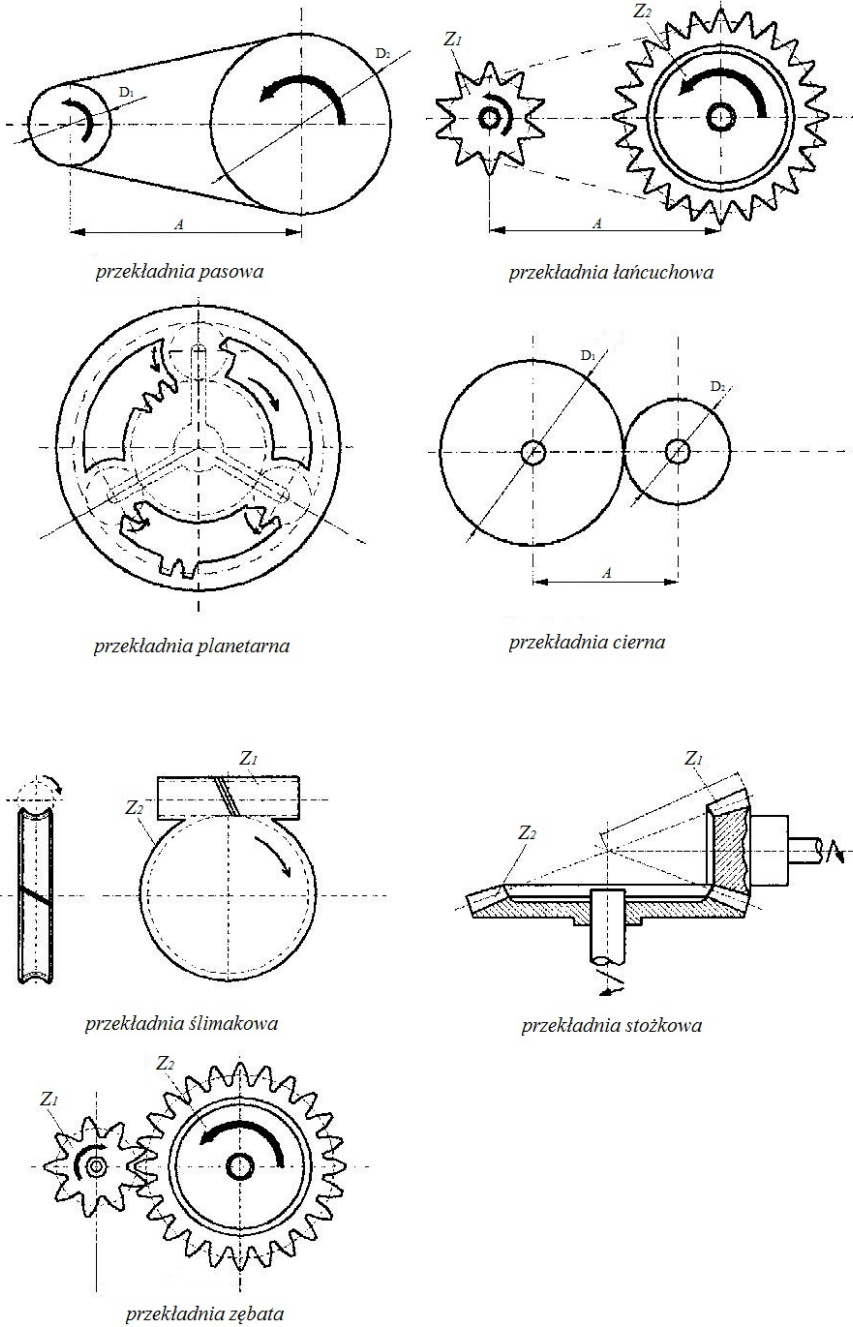
- typowe, stosowane powszechnie w wielu maszynach i produkowane w wyspecjalizowanych zakładach (np. łożyska, śruby z nakrętkami, wpusty, kołki, koła zębate itp.),
- specjalne, stosowane w niektórych maszynach i wytwarzane tylko dla nich (np. tłoki, cylindry, wirniki itp.).

Większość powszechnie stosowanych części maszyn dzieli się na trzy zasadnicze grupy [2]:

- części połączeń,
- łożyskowanie,
- części napędu.

Połączenie (złącze) to taka część konstrukcji, w której części łączne są za pomocą łączników, które tworzą połączenia pośrednie. Łącznikami mogą być (śruby, wpusty itp.). Funkcje łączników spełniają również spoiny, zgrzeiny itp. Znane są też połączenia bezpośrednie (bez łączników, np. połączenia kształtowe lub wciskowe). Połączenia dzieli się ponadto na połączenia spoczynkowe, w których części łączone są nieruchome względem siebie (np. połączenia nitowe i spawane), oraz połączenia ruchowe. W połączeniach ruchowych, jedna część może przesuwąć się względem drugiej (np. połączenia wielowypustowe) lub obracać. Połączenia spoczynkowe dzieli się na rozłączne (np. gwintowe, kołkowe) oraz nierozłączne, których rozłączenie nie jest możliwe bez zniszczenia łącznika lub łączonych części.

Elementami łożyskowania są osie lub wały i łożyska. Osią lub wałem nazywa się elementy maszyn podparte w łożyskach, które podtrzymują osadzone na nich części maszyn, które wykonują ruchy obrotowe (np. koła zębate, pasowe) lub wahadłowe. Z kolei łożyska służą do zapewnienia prawidłowej pracy elementów maszyn.



Rys. 3.2. Rodzaje przekładni mechanicznych

Części napędów to przekładnie zębate, cięgnowe, cierne oraz mechanizmy śrubowe, dźwigniowe itd. Napędami nazywa się urządzenia służące do napędzania, składające się ze źródła energii i elementu pośredniczącego w przekazywaniu energii od silnika do maszyny roboczej. Potocznie mianem napędu określa się głównie urządzenia pośredniczące (np. przekładnie mechaniczne). Typowe rodzaje przekładni mechanicznych pokazano na rysunku 3.2.

Zawory, sprzęgła i hamulce, należą do powszechnie stosowanych części składowych maszyn, ale nie niszczą się w żadnej z zasadniczych grup ww. klasyfikacji. Zawory służą do zmiany przepływu czynnika (cieczy lub gazu). Zmiana ta może polegać na odcięciu lub regulacji przepływu. Istnieje wiele rozwiązań konstrukcyjnych zaworów, przy czym większość z nich jest znormalizowana. Sprzęgłem, jak już wspomniano, jest taki zespół układu napędowego, który jest przeznaczony do łączenia osi i wałów, za pomocą którego przekazuje się moment obrotowy z wału czynnego na wał bierny. Hamulce są to urządzenia służące do zatrzymywania, zwalniania lub regulacji ruchu maszyn.

W zależności od tego, jaki rodzaj energii jest wykorzystywany do napędu silników, tworzy się nazwę maszyny (np. silnik wiatrowy, wodny, cieplny, itp.). Przy projektowaniu ważne jest wykorzystywanie najnowszych rozwiązań technicznych, a jest to możliwe dzięki rozwojowi techniki. Rozwój ten daje podstawy do dalszego systemowego zróżnicowania. Podobne kryteria podziału odnoszą się do maszyn roboczych, które pobierają energię od silników i przetwarzają ją następnie na użyteczną pracę, która jest potrzebna do:

- pokonania użytecznych oporów (związanych ze zmianą kształtu materiału na obrabiarce, podczas kucia itp.),
- zmiany położenia ciała (maszyny transportowe),
- przetworzenia danego rodzaju energii na inny rodzaj.

Poniżej zaprezentowano przykładowy podział silników, dostosowanych do wykorzystania dostarczonej im energii [1]:

- silniki wiatrowe – wykorzystują energię ruchu mas powietrza (wiatraki),
- silniki wodne – wykorzystują energię płynących wód (koła wodne, turbiny wodne),
- silniki cieplne – wykorzystują energię cieplną powstałą podczas spalania paliw, a także energię jądrową, energię słoneczną lub geotermalną. W tej grupie znajdują się silniki parowe i spalinowe.

Silniki cieplne spalinowe przetwarzają energię cieplną spalanego paliwa na energię mechaniczną i dzielą się na silniki spalinowe tłokowe oraz silniki spalinowe turbinowe.

Charakterystyczną wspólną cechą tej grupy silników jest ciągłe spalanie paliwa (zalicza się do nich silnik czterosuwowy Otta z zapłonem iskrowym, silnik

wysokoprężny i silnik Wankla z krążącym tłokiem). Ostatnią wymienioną grupę stanowią silniki elektryczne.

Silniki elektryczne – wykorzystują zjawisko ruchu przewodów wiodącego prąd w polu magnetycznym. Na skutek wzajemnego oddziaływania pola magnetycznych przewodów wirnika (rotora) i pola głównego stojana powstaje siła elektromotoryczna, która powoduje ruch. Do tej grupy silników zalicza się silniki prądu stałego (nie wolno ich włączać bezpośrednio do sieci przy pełnym napięciu, jest to możliwe jedynie za pośrednictwem rozrusznika). Silniki te dzieli się na bocznikowe (uzwojenie twornika i elektromagnesów jest włączone równolegle) i szeregowo. Inna grupę stanowią silniki prądu zmiennego, które dzielą się na silniki synchroniczne, trójfazowe asynchroniczne (indukcyjne), trójfazowe komutatorowe i jednofazowe asynchroniczne małej mocy

Uzyskana od silników energia jest wykorzystywana do napędu maszyn roboczych. Podział maszyn roboczych w zależności od przeznaczenia jest następujący:

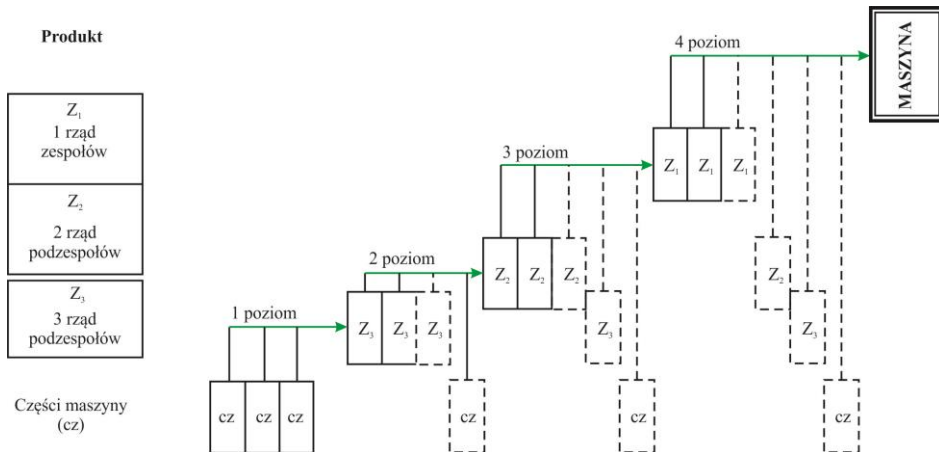
- maszyny produkcyjne – wykorzystywane są do zmiany kształtu, wymiarów, gładkości powierzchni, własności mechanicznych półwyrobów w gotowy wyrób (np. obrabiarki do metalu, drewna, maszyny hutnicze, górnicze itp.);
- maszyny transportowe – do zmiany położenia ciał stałych, cieczy i gazów; w tej grupie wyróżnia środki transportu bliskiego (dźwignice, przenośniki), środki transportu dalekiego (samochody, samoloty, statki, lokomotywy) oraz środki transportu cieczy i gazów (wentylatory, pompy);
- maszyny energetyczne – przetwarzają energię mechaniczną w inną postać energii (prądnice elektryczne, sprężarki, pompy);
- maszyny informacyjne – osobna grupa maszyn, która nie jest przetwornikiem energii w ścisłym rozumieniu tego słowa (komputery).

3.2. Zasady konstruowania

Konstruowanie to taki proces postępowania, którego celem jest zaprojektowanie konstrukcji (np. maszyny). W sensie konstrukcyjnym każda maszyna składa się z elementów prostych, czyli części (cz). Elementy proste tworzą zespoły montażowe (Z), których liczba jest uzależniona od stopnia złożoności maszyny. Wyróżnia się zespoły montażowe: pierwszego, drugiego i trzeciego rzędu. Najniższy rząd tworzą części maszyn (cz), jak to pokazano na rys. 3.3. Proces projektowania obejmuje czynności i zdarzenia występujące między pojawieniem się problemu a powstaniem dokumentacji konstrukcyjnej opisującej rozwiązanie problemu, zadowalające z punktu widzenia funkcjonalnego i ekonomicznego.

Projektowanie maszyn wymaga spełnienia pewnych wymogów i etapów procesu konstruowania. Wymogi, które powinna spełniać maszyna, są szczegółowo

określone w założeniach projektowych. Stosuje się jednak pewne zasady podstawowe, za którymi kryją się określone czynności pomocnicze, które opierają się na wiedzy teoretycznej i praktycznej. Analiza takich potrzeb daje podstawę do formułowania założeń konstrukcyjnych, a na ich podstawie opracowuje się koncepcje rozwiązania projektowanej maszyny.



Rys. 3.3. Podział maszyn na zespoły i części [3]

Im więcej koncepcji tym lepiej, bo wtedy łatwiej wybrać rozwiązanie najlepiej spełniające założenia konstrukcyjne. Po dokonaniu wyboru rozwiązania rozpoczyna się zasadniczy etap konstruowania, który kończy się opracowaniem dokumentacji konstrukcyjnej. Przez cały okres projektowania prowadzi się weryfikację analityczną założeń konstrukcyjnych, aby projektowane urządzenie cechowała funkcjonalność, niezawodność i trwałość. Czynności sprawdzające mają zapewnić poprawność elementów procesu konstruowania. Wybór najlepszego wariantu rozwiązania w dużej mierze zależy od konstruktora, jego wiedzy i umiejętności, ważnych na etapie tworzenia nowych rozwiązań. Na każdym etapie projektowania przydatna jest wiedza z nauk podstawowych i opisowych. Opracowane koncepcje nie mogą być sprzeczne z prawami fizyki i innych nauk. Poprawny projekt maszyny wymaga także uwzględnienia w nim przyszłych warunków eksploatacyjnych, technologicznych i produkcyjnych. Niezależnie co do tej pory powiedziano, na ostateczny wybór koncepcji rozwiązania wpływa także park maszynowy, który ma się do dyspozycji.

Etapy procesu projektowego:

- sformułowanie problemu w sposób ogólny (z pominięciem szczegółów),
- analiza problemu z uwzględnieniem zdefiniowanych szczegółów,

- poszukiwanie rozwiązań i utworzenie katalogu wariantów rozwiązania (lista obejmuje ewentualne konsultacje, własne pomysły i badania), które przez cały czas ocenia się, porównuje i selekcjonuje dopóty, dopóki nie wyłoni się najlepszych,
- opracowanie dokumentacji konstrukcyjnej dla wybranego wariantu rozwiązania.

Zadanie projektanta rzadko kończy się na opracowaniu dokumentacji. Do jego obowiązków należy także uzasadnienie rozwiązania, nadzór nad eksploatacją i dobór odpowiednich materiałów. Wyboru materiału nie można oddzielić od zaprojektowanego kształtu. Rodzaj materiału, kształt i metoda wytwarzania są ze sobą we wzajemnej zależności, które można opisać w następujący sposób:

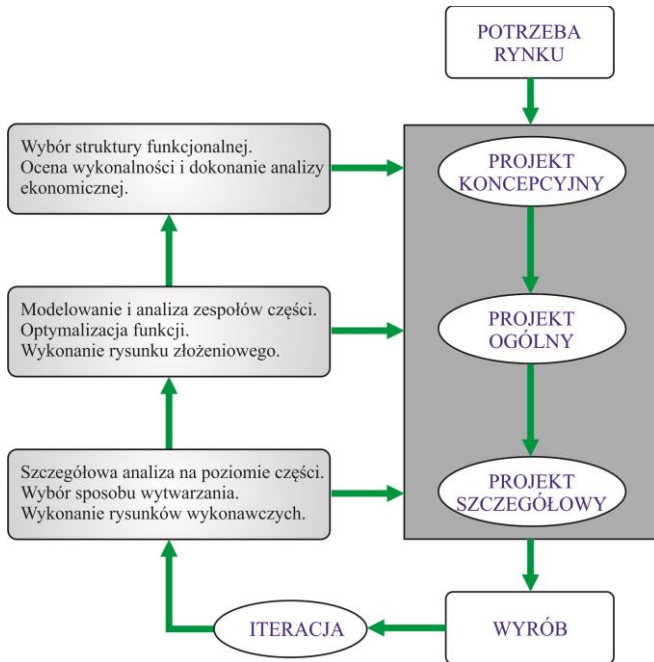
Funkcja narzuca dobór materiału, kształt zostaje zaprojektowany tak, aby przy użyciu dobranego materiału, najlepiej spełniał określone funkcje.

Metoda wytwarzania uzależniona jest od właściwości materiału (np. jego plastyczności, skrawalności, spawalności itp.) i rośnie wraz ze wzrostem wyrafinowania projektu. Doboru materiału dokonuje się już na poziomie pojedynczej części. Niektóre materiały są standardowe i wspólne dla wielu konstrukcji (np. wkręty, ale materiał z którego są wykonane może być już zróżnicowany), inne są specyficzne, unikatowe lub dostosowane dla konkretnej konstrukcji. W tej sytuacji projektant jest zmuszony dobrać materiał, zaprojektować jego kształty i określić metodę wytwarzania.

Na rysunku 3.4 przedstawiono ogólny schemat projektowania. Rozpoczyna się on od rozpoznania zadania, przedstawia możliwe fazy projektu (od projektu koncepcyjnego do projektu szczegółowego) i kończy na otrzymaniu wyrobu. Z lewej strony wykresu pokazane są narzędzia do analizy, modelowania i optymalizacji projektu. W coraz większym stopniu rutynowe czynności projektanckie ułatwia komputerowe wspomaganie projektowania (CAD) oraz możliwość wykorzystania bez danych, które zawierają informacje o standardowych częściach i ich zespołach. Wraz z rozwojem projektowania stosowanie tych narzędzi jest coraz intensywniejsze. Na etapie projektu koncepcyjnego przeprowadza się analizy i modelowanie przybliżone. Na dalszych etapach – analizy te są coraz bardziej wyrafinowane i dokładne. Projektant potrzebuje drogowskazów, które pomagają mu na znalezienie kompromisu między właściwościami i kosztami całkowitymi. Tworzenie projektu ogólnego jest możliwe dopiero wtedy, gdy lista potencjalnych wariantów rozwiązania zostanie zredukowana do jednego, albo bardzo niewielu.

Projekt ogólny po uwzględnieniu struktury funkcjonalnej, obejmuje analizę funkcjonowania wyrobu na niższym poziomie (poziomie części). Wyroby w tej fazie mają już zdefiniowany kształt, wielkość i materiał. Na bazie projektu ogólnego powstaje projekt szczegółowy, który zawiera szczegółowe specyfikacje,

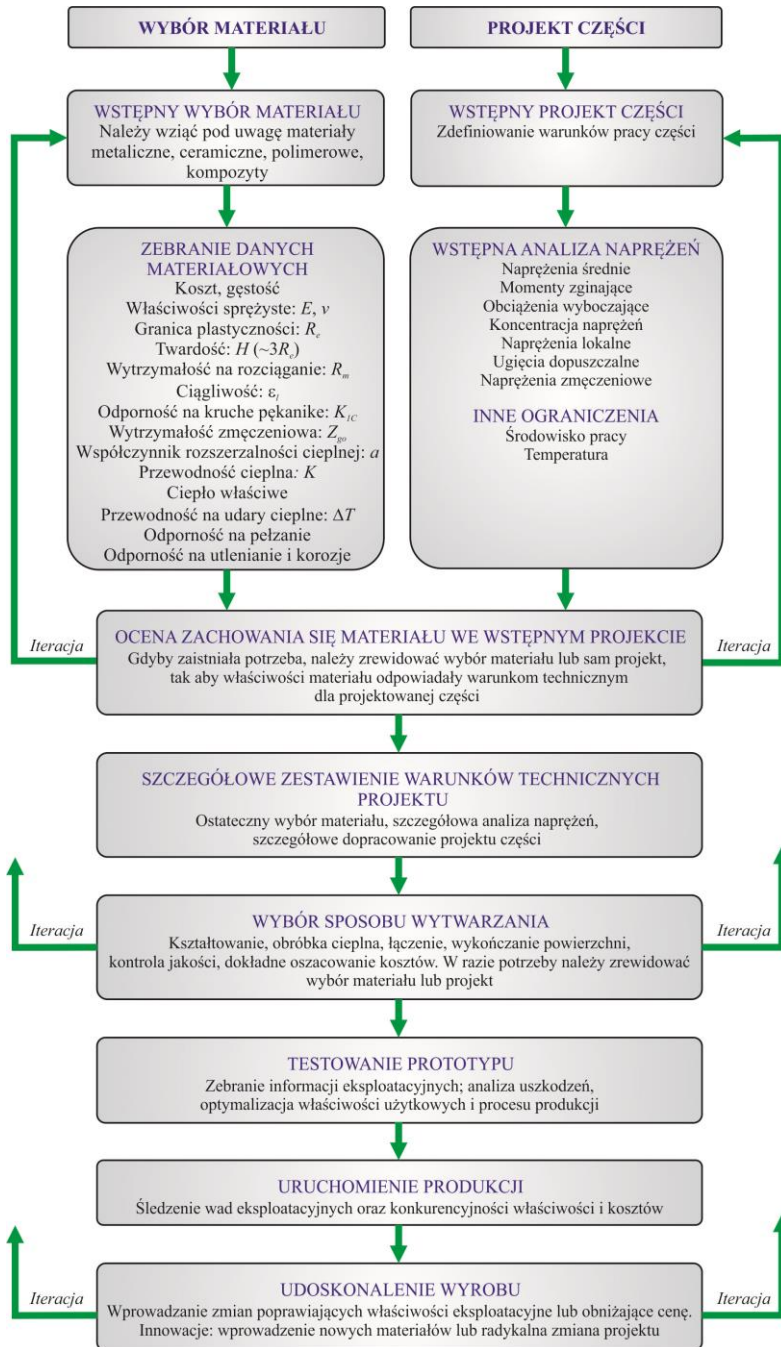
a elementy najbardziej odpowiedzialne są poddawane weryfikacji z punktu widzenia ich warunków pracy (np. analizie mechanicznej). Na tym etapie stosowane są metody optymalizacji (części i zespołów), aby uzyskać najlepsze właściwości użytkowe, dobiera się ostatecznie materiały i analizuje drogę jaką przechodzą w procesie produkcyjnym oraz szacuje koszty. W tej fazie projektowania można już zidentyfikować producenta materiału, a w obliczeniach wykorzystywać dane materiałowe pochodzące od niego.



Rys. 3.4. Ogólny schemat procesu projektowania [4]

Problem doboru materiałów nie kończy się z chwilą rozpoczęcia produkcji, lecz powinien być monitorowany przez cały czas. Wyroby w czasie eksploatacji ulegają przecież awariom i uszkodzeniom. Analiza takich danych dostarcza producentowi maszyny informacje, przez co może on reagować na bieżąco (tzn. wprowadzać zmiany w konstrukcji, bądź podmieniać materiał i eliminować zauważone wady). Proces projektowania jest złożonym kompleksem działań realizowanym przez wiele osób. Konieczny jest więc podział pracy i koordynacja, jak to pokazano na rys. 3.5.

Konstruowanie wymaga także spełnienia różnorodnych wymagań, które są zawarte w warunkach technicznych i wynikają z ogólnych zasad wiedzy o konstruowaniu maszyn. Wymagania te zostały określane za pomocą ogólnych cech użytkowych, które przedstawiono w tabeli 3.1.



Rys. 3.5. Metodologia projektowania [7]

Tabela 3.1. Cechy i znaczenie użytkowe części maszyn [2]

Cecha	Znaczenie użytkowe
wytrzymałościowa	wytrzymałość mechaniczna, sztywność i trwałość konstruowanych części
materiałowa	własności wytrzymałościowe, łatwa obrabialność, odporność na korozję i inne czynniki, odporność na zmiany temperatury w czasie pracy, łatwość nabycia, stosowanie wąskiego asortymentu materiałów itp.
technologiczna	łatwość wykonania, możliwość stosowania prostych procesów technologicznych o małej pracochłonności itd.
montażowa	łatwość montażu i demontażu oraz napraw i wymiany uszkodzonych elementów (zamiennosc części)
eksploatacyjna	niezawodność i bezpieczeństwo działania, łatwość obsługi, cicha praca itd.
ekonomiczna	niski koszt materiałów, produkcji i eksploatacji
estetyczna	estetyka kształtu, dostosowanie wykończenia powierzchni do warunków użytkowania itp.
inne	małą masę i wymiary, szczelność połączeń, łatwość i bezpieczeństwo transportu itd.

Uwzględnienie wymienionych cech użytkowych na etapie projektowania maszyn wpływa bezpośrednio na dobór procesów technologicznych, przebieg procesu produkcji i eksploatacji wytwarzanych maszyn.

3.3. Dokumentacja konstrukcyjna

Zapis konstrukcji jest konieczny z uwagi na przekazanie informacji powstałych w procesie konstruowania, aby wykorzystać je w procesie wytwarzania, a następnie w procesie właściwej eksploatacji. Opracowanie dokumentacji składa się z trzech faz:

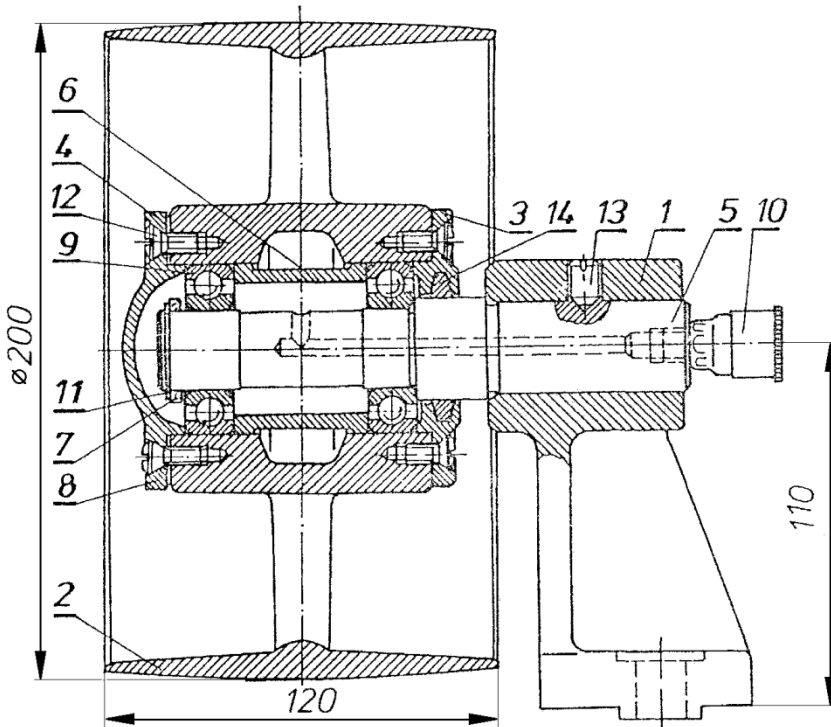
- fazy koncepcji,
- fazy wykonania dokumentacji,
- fazy kontroli autorskiej.

W fazie koncepcji, na podstawie szczegółowych założeń konstrukcyjnych, opracowuje się schemat (np. blokowy) projektowanej maszyny. Na takim schemacie wyróżnia się i specyfikuje zespoły, które wchodzi w skład maszyny oraz pokazuje wzajemne powiązania i relacje zachodzące między nimi.

Faza wykonania dokumentacji konstrukcyjnej obejmuje czynności związane z wykonaniem konstrukcji (budowa, postać geometryczna) projektowanej maszyny (wyrobu) oraz potrzebne czynności pomocnicze (obliczenia, opisy, itp.).

Faza kontroli autorskiej ma za zadanie nadzorować zgodność wykonania dokumentacji z obowiązującymi warunkami i przepisami.

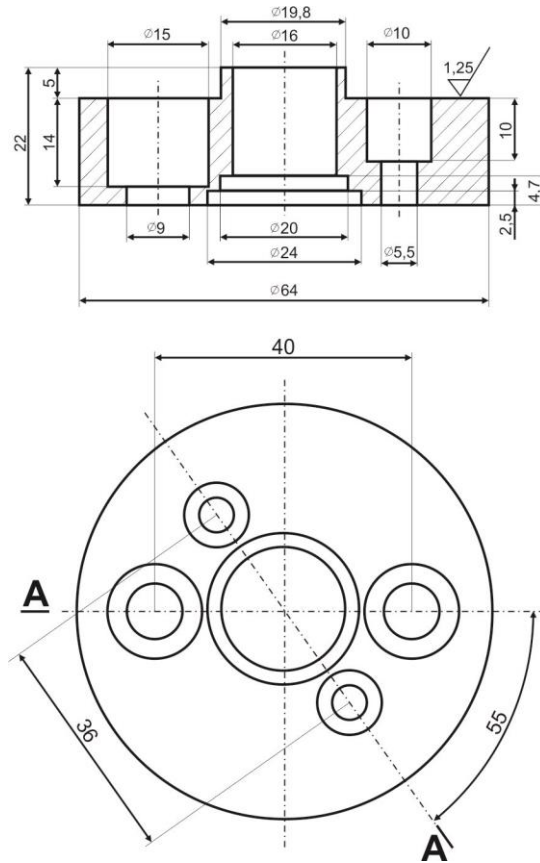
- Dokumentacja rysunkowa dla ustalonego wariantu opracowania składa się z:
- rysunku zestawieniowego, którego przykład pokazano na rys. 3.6; rysunki te przedstawiają w ogólny sposób wzajemne powiązania składowych części maszyny wraz z ich szczegółową specyfikacją, niezbędną do wykonania wszystkich zespołów i podzespołów;



6	Pierścień	1	04.00.60		
5	Śruba mocująca M10	1	04.00.50	PN-62/M62273	
4	Tuleja	1	04.00.40	St 2	
3	Oślona	1	04.00.30	ZI 20	
2	Koło pasowe	1	04.00.20	ZI 20	
1	Wspornik	1	04.00.10	ZI 20	
Lp.	Nazwa części	Numer	Oznaczenie	Materiał	Komentarz

Rys. 3.6. Przykład rysunku zestawieniowego [5]

- rysunku wykonawczego, którego przykład pokazano na rys. 3.7; rysunki wykonawcze pokazują szczegółowo poszczególne elementy maszyny i zawierają niezbędne informacje, konieczne do ich wykonania (wymiar, pasowania i tolerancje itp.).



Rys. 3.7. Przykład rysunku wykonawczego [5]

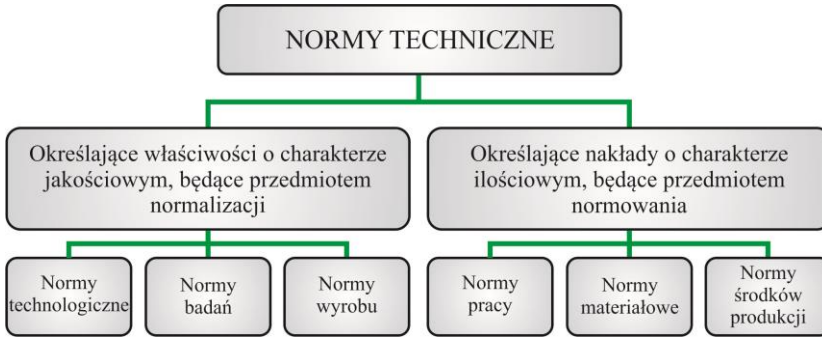
Kompletna dokumentacja konstrukcyjna oprócz ww. rysunków może zawierać również jeszcze inne zbiory dokumentów, np.:

- rysunki ofertowe,
- warunki techniczne wykonania i odbioru (WTO),
- dokumentacje techniczno-ruchową maszyny (DTR).

Dokumentacja konstrukcyjna powinna być wykonana zgodnie z obowiązującymi normami krajowymi i/lub normami międzynarodowymi [6]. Normy międzynarodowe są szczególnie istotne wtedy, gdy dokumentacja będzie wykorzystywana poza granicami kraju, w którym ją wykonano. Normalizacja jest dużym ułatwieniem dla procesu konstruowania części maszyn i ma doniosłe znaczenie w produkcji przemysłowej.

Przez normalizację rozumie się działalność mającą na celu użycie optymalnego w danych okolicznościach stopnia uporządkowania w określonym zakresie przez ustalenie postanowień przeznaczonych do powszechnego i wielokrotnego

stosowania, dotyczących problemów istniejących lub możliwych do wystąpienia. Opracowanie i wprowadzenie jednolitych norm, daje możliwość stosowania w różnych maszynach (urządzeniach) tych samych elementów. Znane są następujące rodzaje norm, jak to pokazano na rys. 3.8.



Rys. 3.8. Rodzaje norm technicznych [6]

Oznaczenie wybranego elementu numerem normy oznacza, że spełnia on wszystkie parametry szczegółowo opisane w normie. Norma jest swoistego rodzaju aktem prawnym, który narzuca pewne rygory, uwalnia od każdorazowego podejmowania decyzji i pozwala skupić się na opracowaniach prawdziwie nowatorskich. Opracowaniem norm w Polsce zajmuje się Polski Komitet Normalizacyjny. Wyróżnia się normy własne (krajowe), normy europejskie i normy międzynarodowe [6].

Norma krajowa polska jest oznaczona literami PN (Polska Norma). W 1994 roku wprowadzono n.w. zmiany w oznaczeniu norm:

- rok zapisywany jest na końcu oznaczenia po dwukropku (PN-M-00000:1994),
- zmiany oznaczane są literami Az, następnie podany jest numer zmiany, a po dwukropku rok (PN-M-00000:1994/Az1:1998),
- poprawki oznaczane są literami Ap, a dalsze oznaczenia są takie same jak opisano przy zmianach, tzn. numer i rok ustanowienia zmiany (PN-M-00000:1994/Ap1:1999).

Normy PN-EN są to normy europejskie EN przyjęte do zbioru norm przed wejściem Polski do Unii Europejskiej (PN-EN 00000:1999).

Od roku 1994 wprowadzono do użytku normy międzynarodowe (ISO). Oznaczenie składa się z cyfr od jednej do pięciu, a po dwukropku występuje rok zapisany czterema cyframi (mogą występować również tzw. normy łączone PN-ISO 9:2006, co oznacza, że norma została przyjęta do zbioru PN). Podobne zasady oznaczania dotyczą również norm PN-IEC.

Wśród wszystkich typów norm z jakimi się spotykamy w praktycznych zastosowaniach, ważną rolę odgrywają tzw. normy ograniczające różnorodność produktów. Ograniczenie uzyskuje się dzięki pracom typizacyjnym i unifikacyjnym. Typizacja i unifikacja to metody działania normalizacyjnego [6]:

- typizacja, czyli działalność normalizacyjna polegająca na ograniczaniu liczby podstawowych wyrobów o zbliżonych właściwościach;
- unifikacja – dalszy postęp w normalizacji polegający na ujednoczeniu elementów oraz zespołów stosowanych w podobnych maszynach, w wyniku którego zwiększa się możliwości w zakresie zamienności.

Dokumentacja konstrukcyjna po wykonaniu powinna być podpisana przez wykonawcę, sprawdzona i zatwierdzona przez osoby do tego upoważnione.

Literatura

- [1] Praca zbiorowa, *Maszynoznawstwo*, NOT, Gdańsk 1990.
- [2] **Rutkowski A.**, *Części maszyn*, WSiP, Warszawa 1998.
- [3] Praca zbiorowa, *Montaż i demontaż maszyn*, NOT, Gdańsk 1991.
- [4] **Kubiński W.**, *Wprowadzenie do techniki*, AGH, Kraków 2006.
- [5] Praca zbiorowa, *Rysunek techniczny*, NOT, Gdańsk 1991.
- [6] **Tomaszewski Z.**, *Wprowadzenie do techniki*, WPP, Poznań 2001.
- [7] **Ashby M.F., Jones D.R.H.**, *Materiały inżynierskie*, WNT, Warszawa 1998.

4. WPROWADZANIE DO MATERIAŁOZNAWSTWA

4.1. Znaczenie i priorytety przy wyborze materiałów

Który materiał jest najlepszy? – to pytanie często stawiane przez osoby nieorientowane w problematyce materiałoznawstwa, a chcące uzyskać krótką i prostą odpowiedź. Niestety odpowiedź na to pytanie jest bardzo trudna i złożona, a niejednokrotnie wręcz niemożliwa. Dobór materiału na konkretny wyrób uwarunkowany jest wieloma czynnikami, takimi jak: konkretne właściwości użytkowe, właściwości technologiczne wiążące się z procedurą wytworzenia przedmiotu oraz aspekty ekonomiczne. Często wybór materiału to daleko posunięty kompromis spełniający powyższe warunki.

Dlatego za najlepszy materiał powinniśmy uważać ten, który w danej chwili jest w stanie spełnić wszystkie nasze wymagania.

Czynników wpływających na określenie przydatności wybranego materiału jest oczywiście więcej i są one bardziej złożone.

4.2. Struktura materiałów

Stan skupienia materii – podstawowa forma, w jakiej występuje substancja, określająca jej podstawowe własności fizyczne. Własności substancji wynikają z układu oraz zachowania cząsteczek tworzących daną substancję. Bardziej precyzyjnym określeniem form występowania substancji jest faza materii.

Tradycyjny podział stanów skupienia

Tradycyjny, pochodzący z XVII w. podział stanów skupienia, wyróżnia trzy takie stany (w nawiasach nazwy substancji w tym stanie) [2,11]:

- stały (ciało stałe),
- ciekły (ciecz),
- lotny (gaz).

Występowanie większości substancji w danym stanie skupienia zależy od panujących w niej warunków termodynamicznych, czyli ciśnienia i temperatury, np. woda pod normalnym ciśnieniem atmosferycznym w temperaturze poniżej 0°C jest ciałem stałym, w temperaturach od 0 do 100°C jest cieczą, a powyżej 100°C staje się gazem.

Fazy materii – to objętość materiału o jednorodnych właściwościach i chemicznych. Dobitniej pojęcie fazy tłumaczy definicja według której fazą określa się część układu o makroskopowo jednorodnych właściwościach termodynamicznych (składzie chemicznym, budowie krystalograficznej i właściwościach fizycznych) oddzielona od jego pozostałej części powierzchnią rozdziału – granicą

fazową, po której przekroczeniu właściwości termodynamiczne zmieniają się w sposób skokowy.

Własności ciał w poszczególnych stanach zależą od układu cząsteczek (atomów) budujących to ciało. Z tego punktu widzenia ten stary podział jest prawdziwy tylko dla niektórych substancji, gdyż badania naukowe wykazały, że to, co wcześniej uważano za jeden stan skupienia, można w rzeczywistości podzielić na wiele faz materii, różniących się układem cząsteczek w ciele. Mogą nawet występować sytuacje, w których istnieją w jednym ciele, w jednym momencie różne układy cząsteczek. W szczególności okazało się, że stały i ciekły stan skupienia może być realizowany na wiele różnych sposobów. Sposoby te są nazywane fazami materii.

Aktualnie w fizyce przyjmuje się istnienie następujących faz [5,6,11]:

- **faza gazowa** – całkowity brak organizacji – cząsteczki (lub atomy) mają pełną swobodę ruchu i nie występują między nimi żadne oddziaływania oprócz odpychania w momencie zderzeń i przyciągania grawitacyjnego (które jest istotne dla zachowania się dużych obszarów gazu w przestrzeniach międzygwiazdnych); energia cząsteczek nie jest zbyt duża i dlatego ich zderzenia są sprężyste; w gazie może występować przyciągania między cząsteczkami, lecz energia tych oddziaływań jest mniejsza od energii kinetycznej cząsteczek;
- **plazma** – jest to w zasadzie gaz, ale tworzony przez silnie zjonizowane atomy/cząsteczki oraz elektrony; plazmę można wytwarzać w specjalnych urządzeniach, występuje ona także w jądrach większości gwiazd; w plazmie cząsteczki mają na tyle dużą energię, że zderzenia między cząsteczkami nie są sprężyste, dochodzi do wzbudzenia lub jonizacji cząsteczek; plazma przewodzi prąd elektryczny;
- **faza ciekła** – istnieje przyciąganie międzycząsteczkowe powodujące, że cząsteczki pozostają blisko siebie, ale zachowują swobodę ruchu; oddziaływania te tworzą bliskozasięgowe i średnizasięgowe uporządkowanie w cieczy lub w roztworach, przykładowo – oddziaływania dipolowe (odpowiedzialne za hydratację jonów w roztworze), siły Van der Waalsa oraz wiązania wodorowe; istnienie tych oddziaływań powoduje powstawanie uporządkowanych struktur cząsteczek w cieczach, w szczególności w wodzie, bez nich nie mogłyby istnieć organizmy żywe;
- **fazy stałe** – czyli takie, które nie płyną, tzn. pod wpływem sił ścinających ulegają naprężeniom, a przy większych pękają lub płyną (plastyczne):
 - **faza krystaliczna** – w fazie tej cząsteczki są „zablokowane” i tworzą trwałe sieci,
 - **krystalły plastyczne** – w fazie tej cząsteczki są również zablokowane, ale mogą rotować (obracać się) wokół własnych osi,
 - **krystalły *condis*** – w fazie tej cząsteczki nie mogą się przemieszczać, ale mogą zmieniać w dość szerokim zakresie swoją konformację;

- **faza amorficzna** – w fazie tej cząsteczki nie tworzą sieci krystalicznej, ale oddziaływania między nimi są na tyle silne, że nie mogą się one swobodnie przemieszczać względem siebie; czasami fazę amorficzną nazywa się też „superlepka” cieczą lub cieczą „zamrożoną”

Sieci krystaliczne

Układ krystalograficzny to system klasyfikacji kryształów ze względu na układ wewnętrzny cząsteczek w sieci krystalicznej. System wyróżnia siedem układów, w których wyróżnia się 32 klasy krystalograficzne. Każda klasa ma inny rodzaj symetrii w układzie cząsteczek w kryształach [2, 6, 11].

Układ cząstek wynika po części ze struktury chemicznej cząsteczki. Większość kryształów przyjmuje formę regularnego wielościanu.

Schemat sieci krystalograficznych – układ regularny 3 szt.

Wyróżnia się następujące układy krystalograficzne:

- układ regularny (sześcienny), np. sól kamienna, diament, magnetyt, spinel,
- układ tetragonalny, np. kasyteryt, cyrkon, wezuwian, szelit, wulfenit,
- układ heksagonalny, np. beryl, pirotyt, apatyt, cynkit, nefelin, grafit,
- układ trygonalny, np. romboedr, skalenoeedr, kalcyt, korund, kwarc,
- układ rombowy, np. siarka, baryt, oliwin, struwit, hemimorfit,
- układ jednoskośny, np. wolframit, gips, tytanit, augit, ortoklaz,
- układ trójskośny, np. chalkantyt, dysten = cyanit, aksynit, rodonit, albit.

Istnieją minerały nie mające struktury krystalicznej – amorficzne (bezpостaciowe), zwane też szklami, np. opal.

W wyniku zróżnicowanej budowy wewnętrznej (struktury) otrzymujemy bardzo szerokie spektrum materiałów o zróżnicowanych właściwościach.

Jednym z głównych podziałów wszystkich materiałów jest zróżnicowanie w zależności od pochodzenia materiałów.

Według takiej kwalifikacji wyróżniamy:

- materiały pochodzenia naturalnego,
 - minerały,
 - materiały pochodzenia roślinnego (np. drewno, bawełna, polimery naturalne i inne),
 - pochodzenia zwierzęcego,
- materiały syntetyczne (wytworzone przez człowieka)
 - metale i ich stopy,
 - materiały ceramiczne,
 - tworzywa sztuczne (potocznie nazywane „plastikami”),
 - kompozyty,
 - farby, lakiery, emalie i kleje.

4.3. Materiały metaliczne

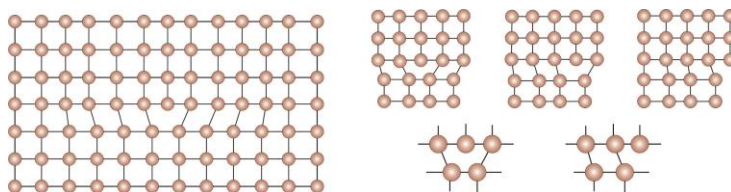
Materiały metaliczne, tj. metale techniczne i ich stopy, należą do grupy tworzyw krystalicznych. Charakteryzują się bardzo dobrymi właściwościami wytrzymałościowymi i plastycznymi, dobrą przewodnością elektryczną i ciepłą oraz zróżnicowaną odpornością na korozję. Odznaczają się na ogół dobrymi właściwościami technologicznymi oraz łatwością nadawania im (stopy metali) bardzo różnorodnych właściwości fizycznych i chemicznych. Wadą materiałów metalicznych jest na ogół duży ciężar właściwy. Stanowią one podstawowe tworzywo na wyroby przemysłu maszynowego oraz na konstrukcje metalowe [11].

Metal jest materiałem (najczęściej krystalicznym) o wiąźaniach metalicznych, którego główne cechy to:

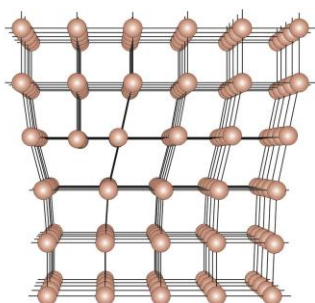
- plastyczność;
- sprężystość;
- dobre przewodnictwo prądu elektrycznego oraz ciepła;
- ujemny współczynnik temperaturowy przewodności elektrycznej;
- nieprzezroczystość;
- metaliczny połysk;
- wytrzymałość mechaniczna;
- łatwość obróbki.

Większość metali nie jest używana przez nas w postaci czystej, lecz jako stopy, czyli w potocznym rozumieniu mieszaniny, których co najmniej jednym składnikiem jest metal. Dzieje się tak, ponieważ czyste metale rzadko mają właściwości dostosowane do potrzeb, a można je łatwo poprawić, stosując różnorakie dodatki. Własności fizyczne metalu, takie na przykład jak wytrzymałość, twardość, temperatura topnienia czy przewodność elektryczna i ciepła, zależą od jego struktury krystalicznej. Ta zmienia się zaś, gdy dodajemy doń domieszki. Powstały w procesie mieszania stop ma strukturę różną od struktur swoich składników, różne są także jego własności fizyczne. Niektóre stopy zawierają substancje niemetaliczne, jak węgiel, krzem czy fosfor, lecz większość składa się wyłącznie z metali [1, 2, 5, 11].

Czysty metal o idealnej strukturze odkształca się łatwo pod działaniem siły, ponieważ atomy ułożone są regularnie. Dyslokacje powodują powstanie wolnych przestrzeni w metalu. W roztworze starym międzywęzłowym struktura metalu jest zaburzona i wzmocniona przez obecność atomów innego metalu.



Krawędź dyslokacji w strukturze kryształu



Rys. 4.1. Schemat dyslokacji – przykład [12, 13]

Stopy metali są obecnie najbardziej rozpowszechnionym materiałem inżynierskim. Zróżnicowane własności użytkowe pozwalają z tego materiału wykonać najprostsze elementy, takie jak uchwyty, stojaki, śruby, a także skrajnie odpowiedzialne konstrukcje stosowane w lotnictwie. Nie sposób zapomnieć o tak zaawansowanym zastosowaniu stopów metali w inżynierii medycznej jako materiału, z którego wykonywane są implanty chirurgiczne.

Najczęściej spotykanym i stosowanym stopem jest **stal**, czyli stop żelaza z węglem plastycznie obrobiony o zawartości węgla nie przekraczającej ok. **2%**. Węgiel w stali najczęściej występuje w postaci perlitu płytkowego. Postać węgla w strukturze stopu ma zasadnicze znaczenie dla jego właściwości mechanicznych.

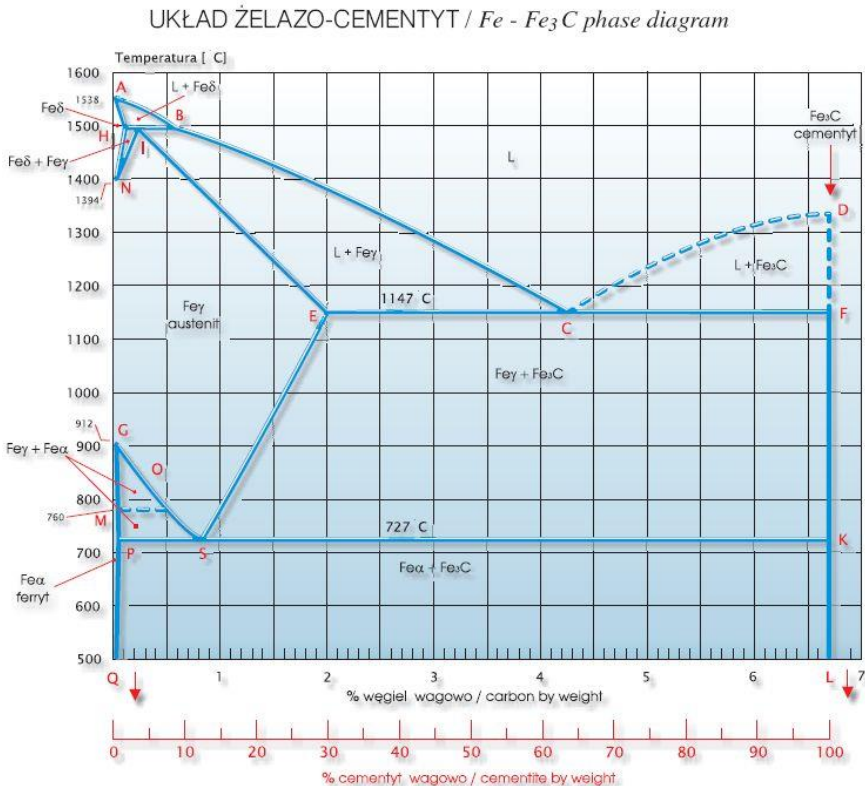
Stal obok żelaza i węgla zawiera zwykle również inne składniki nazywane składnikami stopowymi. Do pożądanych zalicza się głównie metale (chrom, nikiel, mangan, wolfram, miedź, molibden, tytan). Pierwiastki takie jak tlen, azot, siarka oraz wtrącenia niemetaliczne, głównie tlenków siarki, fosforu, zwane są zanieczyszczeniami.

Analizując istotne kwestie związane z wpływem dodania składników stopowych na właściwości wyjściowe stopu, nie sposób poruszyć kwestii związanej z fazami materiałów.

Fazy są często oznaczone literami alfabetu greckiego np. α lub β . Stan stopu opisuje się poprzez:

- średni skład chemiczny,
- liczbę faz,
- skład chemiczny każdej z faz,
- udział wagowy poszczególnych faz.

Dany stop jest w stanie równowagi termodynamicznej, jeśli nie ma tendencji zmiany budowy fazowej w funkcji czasu. Taki układ równowagi możemy także przedstawić w postaci wykresu dla najpopularniejszego stopu – stali węglowej. Charakterystykę tę określa się także pojęciem wykresu żelazo-węgiel. Jest to wykres zawartości węgla w stopie żelaza z węglem (stali). Na osi poziomej podana jest procentowa zawartość węgla w stopie, na osi pionowej temperatura. Z wykresu można odczytać, jaką strukturę posiada stop. W poszczególnych polach wykresu oznaczono następujące fazy: (L – roztwór ciekły węgla w żelazie, α – ferryt, γ – austenit oraz Fe_3C – cementyt) [1, 5, 10].



Rys. 4.2. Wykres żelazo-węgiel [1]

Wraz ze wzrostem udziału węgla struktura stopu żelaza z węglem przybiera odmienne formy [2, 5, 9, 10]:

- przy bardzo niewielkiej domieszce węgla, poniżej 0.0218% udaje się uzyskać niemal czyste żelazo α zwane ferrytem,
- przy domieszce 0.77% węgla uzyskuje się perlit będący mieszaniną eutektoidalną ferrytu i cementytu,
- przy domieszce węgla 2,0%, w krzepnącym stopie, powstaje ledeburyt, a temperaturach poniżej 723°C ledeburyt przemieniony; ledeburyt jest eutektyką,
- przy zawartościach węgla pomiędzy 0.0218% a 0.77% otrzymuje się stopy podeutektyczne (stałe podeutektoidalne), które są mieszaninami ferrytu i perlitu,
- stopy w zakresie 0.77% do 2.11% – stałe nadeutektoidalne – są mieszaninami perlitu, cementytu lub grafitu i ledeburytu,
- powyżej 2,11% – żeliwa, są mieszaninami cementytu lub grafitu i ledeburytu.

Im większa zawartość węgla, a w konsekwencji udział twardego i kruchej cementytu, tym większa twardość stali, węgiel w stalach niskostopowych wpływa na twardość poprzez wpływ na hartowność stali. W stalach stopowych wpływ węgla na twardość jest również spowodowany tendencją niektórych metali, głównie chromu, do tworzenia związków z węglem – głównie węglików o bardzo wysokiej twardości.

Ze względu na znaczne zróżnicowanie odmian stali można ten stop sklasyfikować według kilku podstawowych podziałów.

Stal dzieli się:

ze względu na zawartość węgla i strukturę wewnętrzną:

- stal podeutektoidalna,
- stal eutektoidalna,
- stal nadeutektoidalna,

ze względu na zastosowanie:

- stal konstrukcyjna,
 - ogólnego przeznaczenia,
 - niskostopowa,
 - wyższej jakości,
 - automatowa,
 - łożyskowa,
 - sprężynowa,
 - do azotowania,
 - do ulepszania cieplnego,
- stal narzędziowa,
 - węglowa,
 - stopowa:
 - do pracy na zimno,

- do pracy na gorąco,
- szybkochnąca,
- stal specjalna,
 - nierdzewna,
 - kwasoodporna,
 - magnetyczna,
 - odporna na zużycie,
 - transformatorowa,
 - zaworowa,
 - żaroodporna,
 - żarowytrzymała,

ze względu na rodzaj i udział składników stopowych:

- stal węglowa,
 - niskowęglowa,
 - średniowęglowa,
 - wysokowęglowa,
- stal stopowa,
 - niskostopowa,
 - wysokostopowa.

Podstawowe właściwości stali

Właściwości fizyczne stali:

- gęstość $\rho = 7,86 \text{ g/cm}^3$,
- współczynnik liniowej rozszerzalności $\alpha_T = 0,000012 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$,
- współczynnik przewodzenia ciepła $\lambda = 58 \text{ W/mK}$,
- współczynnik Poissona $\nu = 0,30$,
- moduł Younga $E = 2,06 \cdot 10^5 \text{ MPa}$.

Właściwości mechaniczne i technologiczne stali

Wytrzymałość na rozciąganie R_m określana jest wielkością maksymalnej siły rozciągającej F_m w stosunku do pola przekroju początkowego próbki S_0 .

Badane są także inne parametry określające naprężenia w próbkach stali, takie jak wytrzymałość na ściskanie, zginanie, ścinanie i skręcenie. Podczas badania próbki stali na rozciąganie określone są także [11]:

- granica proporcjonalności R_H (związana z graniczną wartością siły, do której zachodzi proporcjonalność odkształcenia do siły zgodnie z prawem Hooke'a,
- granica sprężystości R_{spr} , czyli maksymalne naprężenie, poniżej którego materiał odkształca się wyłącznie sprężysto i nie wykazuje odkształcenia plastycznego; ze względu na trudności eksperymentalnego określenia R_{spr} oznacza się umowną granicę sprężystości, czyli naprężenie, przy którym

odkształcenie trwałe wynosi 0,01% początkowej długości próbki w statycznej próbie rozciągania,

- granica plastyczności R_e , czyli stosunek siły F_e (charakterystyczny punkt na krzywej rozciągania dla materiałów z wyraźną granicą plastyczności) do pola przekroju początkowego próbki S_0 , dla niektórych gatunków stali (o większej zawartości węgla lub hartowanych) wyraźna granicą plastyczności nie występuje – określa się wtedy *umowną granicę plastyczności* $R_{0,2}$, jako naprężenie konieczne do wywołania odkształcenia trwałego o wielkości 0,2% L_0 (długość początkowa próbki w statycznej próbie rozciągania),
- wydłużenie względne,
- przewężenie względne.

Sprężystość jest rozumiana jako zdolność materiału do odzyskiwania pierwotnej postaci po usunięciu siły powodującej odkształcenie. W zakresie naprężeń sprężystych obowiązuje prawo Hooke'a. Sprężystość materiału określa:

- współczynnik sprężystości podłużnej (moduł Younga) E , który dla stali ma wartość w granicach od $2,05 \cdot 10^5$ do $2,1 \cdot 10^5$ MPa,
- współczynnik sprężystości poprzecznej G (moduł Kirchhoffa), który dla stali ma wartość $8 \cdot 10^4$ MPa.

Plastyczność, czyli zdolność materiału do zachowania postaci odkształconej na skutek naprężeń od obciążeń po usunięciu siły powodującej odkształcenie. Są to odkształcenia trwałe, które powstają po przekroczeniu wartości tzw. granicy plastyczności.

Ciągliwość – zdolność materiału pozwalająca na zachowanie jego właściwości podczas obróbki polegającej na jego tłoczeniu, zginaniu lub prostowaniu itp. Właściwość ta jest wykorzystywana podczas produkcji wyrobów (np. blach trapezowych, ościeżnic itp.).

Udarność, czyli odporność na obciążenia dynamiczne.

Twardość, czyli zdolność przeciwstawienia się materiału przy próbie wciskania przedmiotów twardszych. Twardość stali jest związana z zawartością węgla, manganu, chromu itp.

Spawalność, to cecha stali pozwalająca na wykonanie trwałych połączeń przez spawanie.

Odporność na działanie środowiska to przede wszystkim odporność na działanie podwyższonych i niskich temperatur oraz odporność na działanie czynników powodujących korozję chemiczną i atmosferyczną.

Niestety nie zawsze właściwości stali węglowych będą w stanie spełnić bardziej wymagające warunki. Odpowiedzią na taki problem będą stale stopowe, czyli stopy do zadań specjalnych; droższe, ale o zdecydowanie korzystniejszych

właściwościach fizyko-chemicznych. Zastosowanie ich powinno być ekonomicznie uzasadnione.

Stal stopowa – stal, w której oprócz węgla występują inne dodatki stopowe o zawartości od kilku do nawet kilkudziesięciu procent, zmieniające w znaczny sposób charakterystyki stali. Dodatki stopowe dodaje się, by:

- poprawić hartowność,
- wywołać umocnienie roztworowe i utwardzenie wydzielonymi cząstkami twardych faz,
- wywołać odporność na korozję,
- zmienić pewne właściwości fizyczne i chemiczne stali.

Do najczęściej stosowanych dodatków w stalach zalicza się:

Nikiel

Obniża temperaturę przemiany austenitycznej oraz prędkość hartowania. W praktyce ułatwia to proces hartowania i zwiększa głębokość hartowania. Nikiel rozpuszczony w ferrycie umacnia go, znacznie podnosząc wytrzymałość na uderzenie. Dodatek niklu w ilości 0,5% do 4% dodaje się do stali do ulepszania ciepłego, a w ilościach 8% do 10% do stali kwasoodpornej.

Chrom

Powoduje rozdrobnienie ziarna. Podwyższa hartowność stali. Zwiększa jej wytrzymałość. Stosowany w stalach narzędziowych i specjalnych. Gwałtownie zwiększa odporność na korozję. Zawartość od 12% Cr wywołuje zjawisko pasywacji i w granicach 14-25% czyni stal nierdzewną i żaroodporną. Zwiększa twardość, wytrzymałość na rozciąganie i odporność na ścieranie. Zwiększa także wytrzymałość na pełzanie, dlatego też jest jednym z podstawowych składników stali żarowytrzymałych.

Mangan

Obniża temperaturę przemiany austenitycznej, a przy zawartości powyżej 15% stabilizuje i umożliwia uzyskanie struktury austenitycznej w normalnych temperaturach. Już przy zawartościach 0,8% do 1,4% Znacznie podwyższa wytrzymałość na rozciąganie, uderzenie i ścieranie.

Wolfram

Zwiększa drobnoziarnistość stali, powiększa wytrzymałość, odporność na ścieranie. Duży dodatek wolframu 8% do 20% zwiększa odporność stali na odpuszczanie.

Molibden

Zmniejsza kruchość i poprawia hartowność stali. W granicach 0,2-0,3% zwiększa odporność na pełzanie w podwyższonych temperaturach. Zwiększa własności wytrzymałościowe w podwyższonych temperaturach. Zwiększa pasywność stali i ich odporność na działanie kwasów.

Wanad

Zwiększa drobnoziarnistość stali i znacznie powiększa jej twardość.

Kobalt

Zwiększa drobnoziarnistość stali i znacznie powiększa jej twardość. Zmniejsza hartowność. Jest składnikiem stali szybko tnących, narzędziowych do pracy na gorąco oraz na magnezy trwałe.

Krzem

Normalnie traktowany jako niepożądana domieszka, zwiększa kruchość stali. Staje się pożądanym składnikiem w stalach sprężynowych. Ze względu na fakt, że zmniejsza energetyczne straty prądowe w stali, dodaje się go w ilościach do 4% do stali transformatorowej. Zwiększa odporność na działanie tlenu, powietrza i gorących gazów utleniających (aktywny odtleniacz). Zwiększa wytrzymałość na rozciąganie i granicę plastyczności. Poprawia sprężystość (składnik stali sprężynowych), a także własności magnetyczne. W stalach SONK zawartość Si nie przekracza 1%, a w stalach żaroodpornych i żarowytrzymałych zawiera się w granicach 0.5-3%.

Miedź

Posiada zbliżone właściwości fizyczne jak czyste żelazo, lecz jest znacznie bardziej odporna na korozję. Nie tworzy węglików, sprzyja grafityzacji. Nieznacznie zwiększa hartowność. Uodparnia stal na korozję atmosferyczną. Miedź jest pożądanym dodatkiem i jej zawartość systematycznie wzrasta, wraz z użyciem stali złomowej przy wytapianiu nowej stali.

Dodatkami stopowymi są także takie metale jak: **tytan, niob, glin (aluminium)**.

Przykładami stali stopowych są stale specjalne takie jak [2, 5, 7, 8, 11]:

Stal nierdzewna – (INOX) stal odporna na działanie czynników atmosferycznych, rozcieńczonych kwasów, roztworów alkalicznych i podobnych. Nierdzewność stali uzyskuje się poprzez zwiększoną zawartość chromu. Im większa zawartość chromu, tym większa odporność stali na korozję. Zwykle stosuje się od 12% do 25% chromu. Zwiększona zawartość węgla także wpływa na wzrost nierdzewności stali, lecz zbyt duża jego zawartość powoduje kruchość stali. Stale nierdzewne podlegają obróbce cieplnej, hartowaniu i odpuszczaniu.

Stali nierdzewnych używa się na zbiorniki na wyroby z ropy naftowej, niecki basenów pływackich, kolumny rektyfikacyjne, instalacje w przemyśle koksowniczym, łopatki turbin parowych, armaturę przemysłową i domową, narzędzia chirurgiczne, sztucce, instalacje w przemyśle spożywczym, takielunek i okucia żeglarskie itp.

Stal kwasoodporna (kwasówka) – stal odporna na działanie kwasów o mniejszej mocy od kwasu siarkowego. Kwasoodporność uzyskuje się dzięki

stabilizacji austenitu w normalnych warunkach, co można uzyskać dzięki wysokim zawartościom chromu (17-20%) i niklu (8-14%) oraz innych dodatków stopowych, takich jak mangan, tytan, molibden i miedź.

Stale kwasoodporne są stosowane po polerowaniu. Jako że w wysokich temperaturach dodatki stopowe mają tendencję do łączenia się z węglem, tworząc twarde węgliki, po spawaniu elementów wykonanych ze stali kwasoodpornych wymagana jest ich obróbka cieplna.

Stale kwasoodporne wykorzystuje się do budowy zbiorników kwasów oraz instalacji przemysłowych, do ich produkcji i dystrybucji oraz innych instalacji zawierających kwasy, np. w przemyśle farbiarskim, przy produkcji nawozów sztucznych itp.

W celu zapobieżenia tworzeniu się węglików dodaje się tytan (T w oznaczeniu gatunku stali). Proces ten nazywa się stabilizacją, a takie stale – stabilizowanymi.

Stal żaroodporna – jest to stal odporna na korozyjne działanie gazów utleniających wysokich temperaturach.

Żaroodporność stali wynika głównie z możliwości tworzenia się na jej powierzchni zwartej zgorzeli. Do temperatury ok. 560°C utlenianie żelaza zachodzi stosunkowo wolno, powyżej zaś tej temperatury zgorzelinę w większości tworzy FeO (wustyt), który krystalizuje z nadmiarem atomów tlenu, co ułatwia dyfuzję jonów żelaza i przyspiesza utlenianie.

Stale żaroodporne w swym składzie zawierają dodatki stopowe o większym powinowactwie tlenowym niż żelazo, takie jak: krzem, aluminium, chrom.

Ze stali żaroodpornych i żarowytrzymałych wykonuje się elementy pieców, kotłów parowych, wentylatory do gorących gazów, skrzynki do nawęglania, komory spalania turbin gazowych oraz zawory tłokowych silników spalinowych.

Stal żarowytrzymała – odmiana stali żaroodpornej, od której wymaga się także zachowania wytrzymałości w szerokim zakresie temperatur (w warunkach korozyjnych musi być odporna na pełzanie).

Najczęściej stal żarowytrzymała zawiera Cr, Si, Al, które podwyższają żaroodporność oraz inne dodatki stopowe (Ni, Mn, Zn, Cu).

Stal magnetyczna – stal o specjalnych własnościach magnetycznych. Są stale posiadające właściwości ferromagnetyczne stosowane na magnesy trwałe. Na magnesy trwałe używa się stali o bardzo niskiej zawartości węgla, tzw. ferryt.

Stal odporna na zużycie – w którym następuje bardzo powolne zużycie powierzchniowe, tzw. ścieranie. Jest stalą wysokowęglową zawierającą od 11 do 14% manganu. Jest tak twarda, że nie daje się jej obrabiać skrawaniem. Gotowe elementy odlewa się w formach, dlatego choć nazywana jest stalą, technicznie jest staliwem.

Najbardziej znaną stałą odporną na zużycie, w tym wypadku na ścieranie, jest tzw. **stal Hadfielda**. Jej odkrycie nastąpiło przypadkowo, kiedy zauważono, że w niektórych kopalniach kły koparek zużywają się wolniej niż w innych. Szczegółowa analiza składników złóż wykazała zwiększoną zawartość manganu w tych, w których kły się wolniej zużywały. Wyroby ze stali Hadfielda obrabiane są w taki sposób, że mangan tworzy znacznej wielkości ziarna w strukturze stali. Stale odporne na zużycie są stosowane na: gaśnice pojazdów gaśnicowych, kły koparek, rozjazdy kolejowe, tramwajowe itp.

Stop żelaza i węgla to nie tylko stale. Wyróżniamy także stopy stosowane w technologiach zwanych odlewnictwem. Dwa podstawowe stopy odlewnicze to:

Staliwo – stop żelaza z węglem w postaci lanej (czyli odlana w formy odlewnicze), nie poddana obróbce plastycznej. W odmianach użytkowych zawartość węgla nie przekracza 1,5%, suma typowych domieszek również nie przekracza 1%. Właściwości mechaniczne staliwa są nieco niższe niż własności stali o takim samym składzie po obróbce plastycznej. Wynika to z charakterystycznych dla odlewów: gruboziarnistości i pustek międzykrystalicznych. Staliwo ma natomiast znacznie lepsze właściwości mechaniczne od żeliwa, w szczególności – jest plastycznie obrabialne, a odmiany o zawartości węgla poniżej 0,25% są również dobrze spawalne.

Żeliwo – stop odlewniczy żelaza z węglem, krzemem, manganem, fosforem, siarką i innymi składnikami zawierającymi od 2% do 3,8% węgla w postaci cementytu lub grafitu. Występowanie konkretnej fazy węgla zależy od szybkości chłodzenia. Chłodzenie powolne sprzyja wydzielaniu się grafitu. Także i dodatki stopowe odgrywają tu pewną rolę. Krzem powoduje skłonność do wydzielania się grafitu, a mangan przeciwnie, stabilizuje cementyt. Żeliwo otrzymuje się przez przetapianie surówki z dodatkami złomu stalowego lub żeliwnego w piecach zwanych żeliwniakami. Tak powstały materiał stosuje się do wykonywania odlewów. Żeliwo charakteryzuje się niewielkim – 1,0% do 2,0% skurczem odlewniczym, łatwością wypełniania form, a po zastygnięciu obrabialnością. Wyroby odlewnicze po zastygnięciu, by usunąć ewentualne ostre krawędzie i pozostałości formy odlewniczej, poddaje się szlifowaniu. Odlew poddaje się także procesowi sezonowania, którego celem jest zmniejszenie wewnętrznych naprężeń, które mogą doprowadzić do odkształceń lub uszkodzeń wyrobu. Żeliwo dzięki wysokiej zawartości węgla posiada wysoką odporność na korozję.

W technikach inżynierskich poza stopami bazującymi na żelazie istnieje jeszcze wiele specjalistycznych stopów, w tym stopów metali lekkich. Udział tych materiałów w rynku jest stosunkowo niewielki. Jednak możliwości oferowane przez te stopy pozwalają zastosować je w najbardziej specyficznych warunkach.

Miedź i stopy miedzi

Miedź nie posiada odmian alotropowych. Temperatura topnienia wynosi 1083°C, a gęstość to 8,9 g/cm³. Czysta miedź ma bardzo dobrą przewodność elektryczną i cieplną. Własności wytrzymałościowe miedzi są niskie i wynoszą $R_m = 200 \div 220$ MPa, a twardość 30 HB. W celu poprawy parametrów wytrzymałościowych stworzono wiele stopów miedzi.

Stopami miedzi nazywa się stopy, w których metalem podstawowym jest miedź.

Ogólnie stopy miedzi, będące obecnie najbardziej rozpowszechnionymi materiałami konstrukcyjnymi po stopach żelaza i stopach aluminium, dzielą się na [7, 8, 11]:

- stopy wstępne miedzi,
- miedź stopową,
- mosiądze,
- miedzionikle,
- brązy,
- stopy oporowe miedzi.

W zależności od przeznaczenia stopy miedzi dzielą się na odlewnicze i do przeróbki plastycznej.

Mosiądze – są stopami miedzi, w których głównym składnikiem stopowym jest cynk w ilości powyżej 2%. Dzielą się na mosiądze odlewnicze i do przeróbki plastycznej.

Mosiądze odlewnicze cechuje rzadkoplątność i dobre wypełnianie form, tak że nadają się one na odlewy piaskowe, kokilowe i pod ciśnieniem (temperatura odlewania waha się od 950 do 1100°C). Ich wadą jest skłonność cynku do parowania (temperatura wrzenia cynku wynosi 907°C) i wiążące się z tym duże straty tego pierwiastka. Dlatego mosiądz należy topić pod przykryciem i w miarę możliwości bez przegrzewania. Inną wadą mosiądzów jest duży skurcz odlewniczy (1,8÷2%). Mosiądze stosowane są na wszelkiego rodzaju części maszyn, armatury, silników itd. Z mosiądzu MM55 odlewa się m.in. śruby okrętowe, mosiądz MA58 jest wykorzystywany przez przemysł lotniczy i okrętowy.

Mosiądze do przeróbki plastycznej są stosowane przeważnie w stanie utwardzonym przez zgniot, dzięki czemu uzyskuje się znaczne podwyższenie ich wytrzymałości, przy pewnym jednak pogorszeniu własności plastycznych. Z mosiądzów dwuskładnikowych wykonuje się rurki włoskowate i chłodnicowe, węzownice, membrany manometrów, łuski amunicyjne, części tłoczne i kute.

Mosiądze ołowione są przeznaczone na części obrabiane skrawaniem i dla przemysłu zegarowego, mosiądze specjalne, zależnie od składu chemicznego – na

rury wymienników ciepła (MC70 i MA77), elementy aparatury, elementy ślizgowe (MA58 i MK68) itp.

Mosiądze wysokoniklowe są przeznaczone do wyrobów przedmiotów artystycznych, naczyń stołowych, widelców, łyżek (jako imitacja srebra), części sprężynujących aparatów, elementów głębokotłocznych. Gatunki zawierające ołów są przeznaczone na elementy obrabiane skrawaniem, szczególnie dla mechaniki precyzyjnej i optyki.

Miedzionikle – są przerabianymi plastycznie stopami miedzi, w których głównym składnikiem stopowym jest nikiel w ilości powyżej 2%. Miedzionikle cechuje bardzo dobra odporność na korozję i ścieranie oraz dobra plastyczność, która umożliwia wytwarzanie z nich blach, taśm, prętów, rur i drutów. W szczególności miedzionikiel MN25 przeznaczony jest na monety.

Miedzionikle cechuje bardzo dobra odporność na korozję i ścieranie oraz dobra plastyczność, która umożliwia wytwarzanie z nich blach, taśm, prętów, rur i drutów. Gęstość wszystkich miedzionikli wynosi $8,9 \text{ g/cm}^3$.

Brązy – są stopami miedzi, w których głównym składnikiem stopowym (ponad 2% jest cyna, aluminium, krzem, beryl, ołów i inne, z wyjątkiem cynku i niklu).

W zależności od głównego składnika stopowego (aluminium, beryl, cyna, krzem, kobalt, ołów, antymon, mangan, tytan) noszą nazwę brązów aluminiowych, berylowych itd.

Podobnie jak mosiądze, dzielą się na odlewnicze i do przeróbki plastycznej

Brązy cynowe należą do najstarszych znanych stopów i już w starożytności były stosowane do wyrobu mieczy, ozdób, naczyń i przedmiotów codziennego użytku.

Brązy cynowe wykazują wyjątkowo mały skurcz odlewniczy, co umożliwia wykonywanie z nich odlewów o skomplikowanych kształtach (np. pomników). Jednak wskutek znacznej różnicy temperatur początku i końca krzepnięcia, brązy te mają małą rzadkoplątność i nie tworzą skupionej jamy usadowej. Rzadko więc można uzyskać odlew o dobrej ścisłości (bez rzadzisz i porów).

Dzięki dużej odporności chemicznej, zwłaszcza na działanie czynników atmosferycznych, dobrej wytrzymałości i odporności na ścieranie, z cynowych brązów odlewniczych wytwarza się wszelkiego rodzaju armaturę wodną i parową, panewki do łożysk ślizgowych, odlewy artystyczne i inne o skomplikowanym kształcie.

Brązy aluminiowe produkowane są zarówno jako odlewnicze jak i przerabialne plastycznie. Dzielą się na dwuskładnikowe, zawierające 4÷8% Al, i wieloskładnikowe, zawierające zwykle żelazo i mangan, żelazo i nikiel i inne dodatki.

Główne ich cechy to wysoka wytrzymałość i plastyczność zarówno w temperaturze otoczenia, jak i w temperaturach podwyższonych, oraz dobra odporność na ścieranie i korozję (m.in. wody morskiej).

Brązy manganowe są odporne na działanie wysokich temperatur, w których zachowują dużą twardość i ciągliwość. Znalazły zastosowanie w budowie maszyn parowych, turbin i silników spalinowych, przemyśle elektrotechnicznym (sprężyny, kontakty, szczotki) itd. Stop o zawartości 85% Cu, 12% Mn i 3% Ni nosi nazwę manganinu. Cechuje go wysoki opór elektryczny.

Stopy oporowe miedzi – są stopami z niklem (do 41%), cynkiem (do 28%), manganem (do 13%), aluminium (do 3,6%) i żelazem (do 1,5%). Charakteryzują się stosunkowo wysokim oporem elektrycznym (rezystywnością) i małym współczynnikiem cieplnym oporu.

Miedź stopowa – jest to główna grupa stopowa miedzi, zawierająca nie więcej niż 2% głównego dodatku stopowego. Znormalizowane gatunki obejmują miedź arsenową, chromową, cynową, kadmową, manganową, niklową, siarkową, srebrną, tellurową i cyrkonową.

Stopy wstępne miedzi – są pomocniczymi, dwu- lub trzyskładnikowymi stopami, wytwarzanymi w celu ułatwienia wprowadzenia dodatków stopowych lub technologicznych (odtlenianie). Stop zawierający 50% Al jest stosowany jako dodatek stopowy przy produkcji brązów i mosiądzów aluminiowych, stop zawierający 12% P – jako dodatek stopowy lub jako odtleniacz.

Aluminium (glin) i stopy aluminium

Własności wytrzymałościowe czystego aluminium są stosunkowo niskie $R_m = 70 \div 120$ MPa i twardość rzędu $20 \div 40$ HB. Dlatego stosuje się stopy, które po odpowiedniej obróbce cieplnej mają wytrzymałość nawet kilkakrotnie większą. Stopy aluminium cechują się korzystnym parametrem konstrukcyjnym, tzn. stosunkiem wytrzymałości do ciężaru właściwego (czyste aluminium $2,7$ g/cm³), który jest większy niż dla stali, a oprócz tego ich udarność nie maleje w miarę obniżania temperatury, dzięki czemu w niskich temperaturach mają większą udarność niż stal. Mają jednak niską wytrzymałość zmęczeniową. Stopy aluminium dzieli się na odlewnicze oraz do obróbki plastycznej. Niektóre nadają się zarówno do odlewania, jak i przeróbki plastycznej [7, 8, 11].

Do odlewniczych zaliczamy stopy przeważnie wieloskładnikowe o większej zawartości pierwiastków stopowych (5-25%), np. z krzemem (silumin); z krzemem i magnezem, z krzemem, miedzią, magnezem i manganem, z krzemem, miedzią, niklem, magnezem i manganem i inne. Cechują się one dobrą lejnią i małym skurczem.

Stopy do przeróbki plastycznej zawierają na ogół mniejsze ilości dodatków stopowych, głównie miedź (do ok. 5%), magnez (do ok. 6%) i mangan (do 1,5%),

rzadziej krzem, cynk, nikiel, chrom, tytan. Niektóre stopy aluminium można poddawać utwardzaniu wydzieleniowemu, po którym ich własności wytrzymałościowe nie są gorsze niż wielu stali.

Najstarszymi stopami aluminium, mającymi zresztą do dziś szerokie zastosowanie przede wszystkim w lotnictwie, są durale (nazwa *duraluminium* lub krótko *dural* oznacza „twarde aluminium”, z francuskiego dur – twardy).

Duraluminium to ogólna nazwa stopów metali, zawierających głównie glin, oraz dodatki stopowe: zwykle miedź (2,0-4,9%), mangan (0,3-1,0%), magnez (0,15-1,8%), często także krzem, żelazo i inne w łącznej ilości ok. 6 do 8%, przeznaczony do przeróbki plastycznej.

Gęstość duraluminium to ok. 2,8 g/cm³ (przy 2,7 dla czystego glinu). Po obróbce cieplnej posiada on wysoką wytrzymałość mechaniczną: wytrzymałość dorazna ponad 400 MPa. Wadą durali jest niewielka odporność korozyjna. Zastosowanie: m.in. w lotnictwie do części konstrukcyjnych, niegdyś także do ram naziemnych pojazdów sportowych, itp.

Hydronalinium jest to stop aluminium zawierający 2-5% magnezu i 0,1-0,4% manganu do obróbki plastycznej. Posiada dobrą odporność na korozję wody morskiej, stąd jego zastosowanie w przemyśle okrętowym i chemicznym.

Magnale to ogólna nazwa stopów metali zawierających głównie aluminium, któremu towarzyszy domieszka magnezu w ilości od 3 do 30%. Dodatkowo stopy te mogą zawierać niewielką domieszkę miedzi. Magnale są stopami o gęstości niższej od aluminium, za to o wyższej odporności na korozję, np. gęstość przy 10% magnezu wynosi 2,55 g/cm³, przy gęstości aluminium równej 2,7. Zastosowanie: części silników, konstrukcje lotnicze.

Najnowszą generacją stopów aluminium są stopy z litem, jako głównym składnikiem stopowym. Wykorzystanie litu do tego celu od dawna przyciągało uwagę metaloznawców, głównie jako możliwość uzyskania stopów o gęstości znacznie mniejszej niż gęstość metalu-bazy.

Lit jest najlżejszym metalem. Jego gęstość w temperaturze 20°C wynosi 0,536 g/cm³. Każdy procent litu wprowadzony do aluminium obniża gęstość stopu o ok. 0,1 g/cm³, co pozwala na uzyskanie stopów o dość wysokim stosunku wytrzymałości do gęstości. Ponadto stopy Al-Li cechuje wyższy moduł sztywności, niż konwencjonalne. Te właściwości powodują, że zainteresowanie stopami aluminium-lit stale rośnie.

Optymalne połączenie wytrzymałości i plastyczności mają stopy podwójne zawierające 2,0-2,5% Li, po obróbce cieplnej składającej się z przesycania z temperatury 580°C i starzenia w temperaturze 130°C przez 48 godzin. Ich wytrzymałość na rozciąganie wynosi wówczas około 160 MPa, granica plastyczności 100 MPa, a wydłużenie 14%.

Tytan i stopy tytanu

Tytan jest metalem o dużej wytrzymałości, zarówno w temperaturze otoczenia, jak i temperaturach podwyższonych, stosunkowo małej gęstości i dużej odporności na korozję w powietrzu, wodzie morskiej i wielu środowiskach agresywnych [7, 8, 11].

Tytan występuje w dwóch odmianach alotropowych α i β . Odmiana α (**Ti α**) istniejąca do temperatury 882°C krystalizuje w sieci heksagonalnej zwartej, natomiast odmiana β (**Ti β**) istniejąca powyżej temperatury 882°C aż do temperatury topnienia (1668°C) krystalizuje w sieci regularnej przestrzennie centrowanej.

W temperaturze otoczenia czysty tytan ma kolor srebrzysty i przypomina wyglądem stal nierdzewną lub nikiel. Gęstość tytanu w temperaturze 20°C wynosi 4,507 g/cm³, tytanu β w temperaturze 900°C-4,32 g/cm³. Tytan jest metalem paramagnetycznym.

Własności mechaniczne tytanu zależą przede wszystkim od jego czystości (czysty tytan – $R_m \approx 550$ MPa, a ta z kolei zarówno od rodzaju procesu metalurgicznego przerobu rudy tytanowej (proces jodkowy, proces Krolla, elektroliza), jak i od metody przerobu otrzymanych w procesie półwyrobów (topienie gąbki tytanowej, spiekanie proszku). Zwiększenie ilości zanieczyszczeń w tytanie zawsze prowadzi do podwyższenia jego wytrzymałości i twardości, a obniżenia własności plastycznych, przy czym bardzo poważny wpływ wywierają nawet setne części procentu zanieczyszczeń.

W przemyśle praktycznie wykorzystuje się głównie tytan produkowany metodą Krolla, zawierający 99,8÷98,8% Ti. Taki tytan nosi nazwę tytanu technicznego. Szczególnie cenną własnością tytanu jest jego wielka odporność na korozję chemiczną, dorównująca, a w wielu przypadkach przewyższająca, odporność korozyjną austenitycznych stali chromowo-niklowych.

Wpływ pierwiastków stopowych na temperaturę przemiany alotropowej tytanu jest różny.

Aluminium, tlen, azot i węgiel podwyższają temperaturę przemiany, tym samym zwiększają obszar istnienia tytanu α . Stąd często noszą one nazwę stabilizatorów fazy α . Większość pozostałych pierwiastków stopowych (np. molibden, wanad, niob, tantal, chrom, mangan, żelazo, wodór) obniża temperaturę przemiany i rozszerza obszar istnienia tytanu β . Te pierwiastki noszą nazwę stabilizatorów fazy β . Osobną grupę stanowią pierwiastki, których wpływ na temperaturę przemiany alotropowej jest nieznaczny. Należą tu cyna, cyrkon, tor, hafn i inne. Te pierwiastki nazywa się zwykle neutralnymi.

Magnez i stopy magnezu

Ze względu na swoją gęstość (1,74 g/cm³) magnez jest zaliczany do najlżejszych metali. Temperatura topnienia czystego magnezu wynosi 650°C, temperatura

topnienia stopów magnezu $460\div 650^{\circ}\text{C}$, w zależności od ilości i rodzaju składników stopowych [7, 8, 11].

Magnez jest metalem bardzo aktywnym chemicznie i podobnie jak aluminium, łatwo łączy się z tlenem, tworząc na powierzchni warstewkę tlenku MgO. Warstewka ta jest jednak mało szczelna i nie chroni metalu przed korozją. Z tego powodu magnez i jego stopy są na ogół nieodporne na korozję (wyjątek stanowi atmosfera suchego powietrza).

W temperaturze $600\div 650^{\circ}\text{C}$ magnez zapala się i płonie osłepiająco białym płomieniem, co wywołuje konieczność stosowania specjalnych środków zabezpieczających przy jego topieniu i odlewaniu.

Czysty magnez ma niewielką wytrzymałość i plastyczność, np. w postaci lanej $R_m = 78\div 120\text{ MPa}$, $A_5 = 4\div 6$ w postaci walcowanej $R_m = 160\div 180\text{ MPa}$, $A_5 = 5\div 6\%$. W związku z tym magnez nie znajduje zastosowania jako materiał konstrukcyjny. Wykorzystywany jest on natomiast w pirotechnice (do produkcji rakiet sygnalizacyjnych i lotniczych bomb zapalających), w przemyśle chemicznym, w energetyce jądrowej (jako ciekły nośnik ciepła w niektórych typach reaktorów) oraz w metalurgii jako odtleniacz.

W postaci stopów z miedzią i niklem używany jest także jako modyfikator żeliw.

Znacznie szersze zastosowanie przemysłowe znajdują stopy magnezu, które często osiągną wytrzymałość $R_m = 300\div 340\text{ MPa}$.

Głównymi składnikami tych stopów obok magnezu są:

- **aluminium** (do 11%), które podwyższa własności wytrzymałościowe i twardość, a w stopach odlewniczych polepsza lejność i zmniejsza skurecz; wzrost zawartości aluminium w stopie wywołuje jednak zwiększenie kruchości na gorąco;
- **cynk** (do 7%) polepszający zarówno własności wytrzymałościowe, jak i plastyczne;
- **mangan** zwiększający odporność na korozję i wywołujący rozdrobnienie ziarna; w stopach nie zawierających aluminium zawartość manganu dochodzi do 5%, w stopach z aluminium, które zmniejsza rozpuszczalność manganu w magnezie, wynosi kilka dziesiątych procentu;
- **cyrkon** (do 1%) polepszający własności mechaniczne i obrabialność stopów (wywołuje rozdrobnienie ziarna);
- **cer**, tor i metale ziem rzadkich (lantan, neodym, prazeodym) polepszające własności w temperaturach podwyższonych; spotyka się również stopy magnezu zawierające takie dodatki stopowe, jak: krzem, wapń, kadm i nikiel, przy czym zawartość ich zwykle nie przekracza 1%.

Osobną, najmłodszą grupę stopów magnezu stanowią stopy z litem (zawierające do kilkunastu % Li), których gęstość ($1,35 \div 1,62 \text{ g/cm}^3$) jest znacznie mniejsza niż pozostałych stopów magnezu (ok. $1,80 \text{ g/cm}^3$).

Ogólnie stopy magnezu dzielą się na *odlewnicze* i do *przeróbki plastycznej*. W obu tych grupach podstawowymi typami są podwójne stopy magnez-mangan oraz wieloskładnikowe stopy magnez-aluminium-cynk-mangan i magnez-cynk-cyrkon.

Zastosowanie stopów magnezu zależy od ich składu chemicznego i własności. Na przykład stopy odlewnicze są przeznaczone na: GA3 – korpusy pomp i armatury, GA6 – odlewy części lotniczych i samochodowych, obudowy przyrządów aparatów, GA8 – silnie obciążone części lotnicze, części aparatów fotograficznych, maszyn do pisania, GRE3 – skomplikowane odlewy pracujące w temp. do 250°C ; stopy przerabialne plastycznie; GA6 – na obciążone elementy konstrukcji lotniczych, poszycia samolotów i śmigłowców itd.

Molibden i stopy molibdenu

Molibden jest metalem o temperaturze topnienia 2610°C i gęstości $10,2 \text{ g/cm}^3$. Cechują go:

- wysoki moduł sprężystości,
- dobra odporność na gwałtowne zmiany temperatury (dzięki małemu współczynnikowi rozszerzalności cieplnej i wysokiej przewodności cieplnej),
- dobra przewodność elektryczna (około 33% przewodności Cu).

Do jego zalet należy również dość szerokie rozpowszechnienie w przyrodzie i dobrze opracowaną technologię wytwarzania.

Zasadniczą natomiast wadą molibdenu i stopów na jego podstawie jest brak odporności w podwyższonych temperaturach (powyżej 650°C) na korodujące działanie gazów atmosferycznych, a szczególnie tlenu, stosowanie w wysokich temperaturach jest uwarunkowane specjalnymi ochronnymi pokryciami ceramicznymi.

Jako materiały konstrukcyjne wykorzystuje się obecnie molibden techniczny zawierający około 0,02% C, stop molibden-tytan (zawierający 0,04% C i 0,5% Ti), stop molibden-wolfram (30% W), stop molibden-ren (41% Re), stop TZC (1,2% Hf i 0,05% C) i stop TZM (0,015% C, 0,5% Ti i 0,08% Zr). Ten ostatni w temperaturze 1315°C ma $R_m = 310 \text{ MPa}$.

Molibden i jego stopy są stosowane w lotnictwie i kosmonautyce na dysze rakiet, części silników, przednie części skrzydeł itd.

Nikiel i stopy niklu

Nikiel metaliczny jest srebrzystobiałym, połyskującym metalem, trudno korodującym i odpornym na ścieranie. Jest metalem cięższym od żelaza – gęstość to $8,9 \text{ g/cm}^3$. Jego temperatura topnienia to 1452°C , własności wytrzymałościowe (w stanie wyrzażonym) to $R_m = 440 \text{ MPa}$, oraz twardość 90 HB. Stosuje się go do

tworzenia połyskujących powłok galwanicznych na powierzchni elementów stalowych.

Najczęściej stosowanymi stopami niklu są [7, 8, 11]:

- **Stop Monela** – o symbolu NiCu30Fe2Mn1, zawierający 30% miedzi, 2% żelaza i 1% manganu. Metal plastyczny, nadający się od obróbki plastycznej na zimno i gorąco, jednocześnie posiadający bardzo dobre własności wytrzymałościowe i wysoką odporność na korozję. Stosowany na elementy maszyn pracujących w styczności z agresywnymi substancjami np. łopatk turbin parowych.

- **Platynid** (FeNi29Co17Pr) i Fernico (FeNi42Mn1Pr) stopy wytwarzane metodami metalurgii próżniowej (oznaczenie Pr). W zasadzie są stalami specjalnymi, lecz ze względu na ich unikalność zalicza się je do stopów niklu. Posiadają współczynnik rozszerzalności liniowej równy szkłu. Dzięki temu są stosowane na oprawy elementów szklanych pracujących w podwyższonych temperaturach, np. lamp elektronowych i odpowiedzialnych żarówek.

- **Inwar** (FeNi35Mn1) – stal specjalna posiadająca w zakresie do 100°C współczynnik rozszerzalności liniowej bliski zeru. Stop stosowany do produkcji odpowiedzialnych przyrządów pomiarowych.

- **Elinvar** (FeNi36Cr12W4Mo2) – stal specjalna posiadająca bardzo dobre właściwości sprężyste i bardzo niewielki współczynnik rozszerzalności liniowej. Stosowany na sprężyny zegarowe.

- **Permalloy** – stop niklowo-żelazowy, bez domieszek węgla. Stosowany na materiały ferromagnetyczne.

- **Alumel** (NiAl12Mn2Si1) i **chromel** (NiCr10) – stopy stosowane na termopary.

- **Nichrom** (NiCr9Pr i NiCr20Pr) – stopy wytwarzane metodami metalurgii próżniowej, charakteryzujące się dużą odpornością, a jednocześnie żaroodpornością. Stosowane na grzejne elementy oporowe. Stosowane także na elementy silników lotniczych pomp do substancji agresywnych i pracujących w wysokich temperaturach itp.

- **Nikiel stopowy do zastosowań w elektronice** zawierający od 1% do 5% manganu, 4% wanadu i domieszki magnezu – stosowany do produkcji elementów lamp elektronowych.

- **Nikiel stopowy na elektrody** świec zapłonowych NiMn5, zawierający około 5% manganu.

- **Nitinol** (NiTi49-51) stop z pamięcią kształtu. Posiada bardzo szerokie zastosowanie (m.in. bioinżynieria).

Wolfram i stopy wolframu

Szczególnymi zaletami wolframu są bardzo wysoka temperatura topnienia (3415°C) i wyjątkowa wytrzymałość w wysokich temperaturach, ujemnymi cechami – duża gęstość (19,3 g/cm³) i kruchość w niskich temperaturach. Poza

tym wolfram, jak większość metali trudno topliwych, łatwo utlenia się w wysokich temperaturach, co powoduje konieczność stosowania pokryć ochronnych. Te same własności cechują stopy wolframu z tlenkiem toru (1 lub 2% ThO₂), wolframu z renem (4% lub 25% Re) i molibdenem (15% Mo) [2, 3, 7, 8, 11].

Kobalt i stopy kobaltu

Kobalt jest metalem o barwie srebrzystoszarej z odcieniem niebieskawym. Gęstość kobaltu to 8,92 g/cm³, temperatura topnienia 1492°C. W stanie lanym kobalt charakteryzuje się wytrzymałością rzędu $R_m = 230$ MPa, twardość to 170 HB.

Przedstawicielem stopów kobaltu jest znany od ponad pół wieku stop amerykański o nazwie *Vitalium*. Podstawowy zakres zastosowania w wysokich temperaturach tych stopów pokrywa się z zakresem stosowania stopów niklu. Jednakże deficyt kobaltu oraz jego cena są przyczyną ograniczonego zastosowania jego stopów i wyboru stopów niklu bądź też częściowego zastępowania kobaltu niklem w stopach kobaltowych. Tradycyjne stopy kobaltu oprócz materiału podstawowego (osnowy), posiadają główne dodatki stopowe jak Cr, Mo i Ni oraz takie pierwiastki jak Al, Mn, Si, C, Fe, B czy też dodatki pierwiastków węglotwórczych jak Ti, Ta, Zn i Nb. Wykazują one nieco niższą żarowytrzymałość od stopów niklu. Natomiast ich zaletą jest większa odporność na korozję wywołaną spalinami zawierającymi agresywne popioły oraz na działanie związków siarki, posiadają jednak mniejszą odporność na utlenianie w powietrzu. Zmiany własności wytrzymałościowych w zależności od temperatury i czasu mają przebieg mniej drastyczny niż w stopach niklu, co daje przewagę w zastosowaniu ich do budowy szeregu elementów turbin gazowych. Korzystną własnością stopów kobaltu jest też ich większa przewodność i mniejsza rozszerzalność cieplna.

Mechanizm utleniania stopów Co-Cr ma podobny przebieg jak stopów Ni-Cr i zależy od stężenia chromu. Przy czym największą żaroodporność uzyskują stopy kobaltu przy zawartości ok. 30% Cr. Ze względu na gorszą jakość zgorzeli-ny jest ona mniejsza od stopów niklu, a o podobnej żaroodporności można mówić jedynie w odniesieniu do warunków izotermicznych [2, 3, 7, 8, 11].

Nadstopy

Dopiero w ubiegłym dziesięcioleciu w Stanach Zjednoczonych znacznie wzrosło zainteresowanie nowymi rodzajami żarowytrzymałych i żaroodpornych stopów kobaltowych, zwanymi powszechnie nadstopami lub superstopami. Nadstopy charakteryzują się przede wszystkim dużą wytrzymałością mechaniczną przy temperaturach nawet powyżej 750°C, dużą odpornością na działanie spalin, dużą wytrzymałością na pełzanie i wysoką termiczną wytrzymałością zmęczeniową. Nadstopy te w zasadzie nie różnią się składem chemicznym od stopów kobaltowych zwanych *stellitami* mogą z powodzeniem być objęte tą nazwą, lecz

w przeciwieństwie do stelitów nie chodzi tu o tak wysoką odporność na ścieranie jak o bardzo wysoką żarowytrzymałość i żaroodporność. Przykłady nadstopów na osnowie kobaltu: X40, FSX418, MM509, W1 52.

Z racji wybitnych własności żaroodpornych i żarowytrzymałych (w tym wytrzymałości na pełzanie) nadstopów kobaltowych a także łatwe odlewanie, dobrą spawalność i obrabialność mechaniczną zwiększył się ich obszar zastosowań najpierw na łopatki turbin gazowych, a obecnie również do produkcji wszystkich wysoko obciążonych elementów w przemyśle kosmicznym, a w przemyśle lotniczym na łopatki wirnikowe i kierownicze, komory spalania i inne wysoko obciążone elementy silnika odrzutowego.

Dalsze zmiany w kierunku polepszenia własności żaroodporności i żarowytrzymałych nadstopów kobaltowych nie charakteryzowały się tendencją do ulepszenia składu chemicznego, gdyż sądzono, że nie ma lepszej kombinacji metalicznych składników, a raczej postępem w ich technologii. Najistotniejszymi zmianami w tym kierunku są udane próby wprowadzenia procesów monokryształizacji nadstopów stosowanych w najnowocześniejszych turbinach gazowych silników samolotów wojskowych i cywilnych.

Następnym krokiem w rozwoju technologii elementów wykonywanych z nadstopów jest wprowadzenie ceramicznych warstw ochronnych z korundu Al_2O_3 lub dwutlenku cyrkonu ZrO_2 . Warstwy takie, napyłane próżniowo lub plazmowo o grubości ok. 0,2 mm, skutecznie zabezpieczają materiał rodzimy przed utlenianiem i jednocześnie obniżają temperaturę warstwy wierzchniej nadstopu o ok. 200 K. Produkowane od lat osiemdziesiątych komory spalania turbin gazowych amerykańskich samolotów wojskowych są wykonane z nadstopów na bazie kobaltu chronionych warstwami ceramicznymi [11, 14, 15].

Metale szlachetne

Do metali szlachetnych zaliczamy te materiały metaliczne, które w szeregu aktywności metali przyjmują potencjały dodatnie.

Do najbardziej znanych metali szlachetnych należą miedź (Cu), złoto (Au), srebro (Ag) i platyna (Pt). Są odporne na działanie agresywnych środowisk chemicznych. Nie utleniają się i są odporne na działanie wszystkich kwasów z wyjątkiem tzw. wody królewskiej. Posiadają one dużą gęstość i dobrą plastyczność, a także wysoką temperaturę topnienia z wyjątkiem srebra i złota.

Złoto w przyrodzie występuje w stanie rodzimym lub w stanie rodzimego stopu ze srebrem, złotem, miedzią i platyną oraz w rudach zawierających selenki i tellurki złota. Złóże rud złota jest opłacalne w eksploatacji przy uzyskiwaniu 10 kg złota na tonę rudy. Czyste złoto jest metalem miękkim ciągliwym, w wyniku czego może być obrabiane plastycznie na zimno. Z czystego złota są wytwarzane folie o grubości mniejszej niż 0,1 μm . Ze względu na niską twardość jest ono

podatne na ścieranie, co ogranicza możliwość zastosowania technicznego czystego złota, najczęściej stosowane są stopy złota o wyższej twardości i własnościach wytrzymałościowych.

Platyna w przyrodzie spotykana jest w postaci rodzimej i rodzimych stopów z innymi metalami z grupy platynowców oraz rud np. $PtAs_2$. Natomiast tlenki platyny otrzymuje się metoda mokrą, działając na $K_2[PtCl_4]$ wodorotlenkiem potasu, uzyskuje się $Pt(OH)_2$, który podczas ogrzewania odwadnia się i powstaje PtO . Związek ten ulega jednak częściowemu rozkładowi i nie udaje się go otrzymać w stanie czystym. Materiałem wyjściowym do otrzymania dwutlenku platyny jest $PtCl_4$. Z pozostałymi platynowcami (wszystkie są metalami szlachetnymi) sprawa jest prostsza, wszystkie reagują bezpośrednio z tlenem. Platynowce reagują dodatkowo z fluorowcami, głównie z fluorem i chlorem. Bromki i jodki platynowców są na ogół trudno rozpuszczalne w wodzie. Z siarką wszystkie platynowce tworzą dwusiarczki. Jest ona odporna na większość substancji, w podwyższonych temperaturach silnie oddziałuje z fluorem, jodem, siarką i węglanem sodu. Platynę poddaje się obróbce plastycznej na zimno i na gorąco. Stosuje się ją w technice i w przemyśle jubilerskim. Czysta platyna jest stosowana w przemyśle technicznym jako katalizator, także do wyrobu tygli, elektrod i w jubilerstwie. Stopy platyny zawierające złoto, srebro, pallad, iryd, miedź i in. są wykorzystywane do produkcji termopar (druty termopar – 10% i 30% Rh) i uzwojeń piecyków grzewczych a także na wyroby jubilerskie (stop z miedzią o próbie 950) [11].

Srebro w przyrodzie spotykane jest w stanie rodzimym i w rudach, np. Ag_2S , Ag_2Te . Srebro stanowi częste zanieczyszczenie rud innych metali, zwłaszcza ołowiu i miedzi. W Polsce srebro uzyskuje się w procesie ubocznym z siarkowych rud cynkowo-ołowiowych. Srebro jest odporne na działanie wielu kwasów organicznych i zasad, a także związków siarki. W stanie czystym jest wykorzystywane w elektronice w postaci taśm i drutów i do galwanicznego pokrywania innych metali. Srebro techniczne stosowane jest do lutowania stopów o rozszerzalności cieplnej zbliżonej do szkła z molibdenem i palladem przy produkcji elementów próżniowych. Stopy srebra z miedzią, złotem i platyną i in. stosowane są na monety, wyroby jubilerskie, galanterie i sztuce. W postaci związków $AgBr$ i $AgCl$ srebro używane jest w przemyśle fotochemicznym na klisze i papier światłoczuły [11].

Pallad w przyrodzie spotyka się w stanie rodzimym lub w postaci rodzimych stopów ze złotem lub platyną. Jest on pierwiastkiem odpornym na działanie wielu środowisk chemicznych, ulega rozpuszczeniu w wodzie królewskiej. Czysty pallad poddaje się obróbce plastycznej na zimno i gorąco, temperatura rekrytalizacji palladu to $600-700^{\circ}C$. W postaci czystego metalu stosuje się go na styki przewodników elektrotechnicznych, w przemyśle chemicznym jako katalizator. Stopy

palladu ze złotem, srebrem, miedzią, niklem i in. stosuje się w dentystyce i jubilerstwie [11].

Osm jest najtwardszym i najbardziej kruchym metalem szlachetnym. Wykorzystuje się go w stanie sproszkowanym jako katalizator, a także na końcówki stalówek do wiecznych piór w postaci stopu z irydem.

Iryd wykorzystuje się w przemyśle chemicznym jako katalizator, jako stop najczęściej z platyną stosuje się go na styki elektryczne, tygle, parownice, elektrody.

Rod i ruten nie są jak dotąd wykorzystywane jako materiały konstrukcyjne. Wykorzystuje się je jako katalizatory i dodatki stopowe w stopach innych metali.

4.4. Materiały ceramiczne

Materiały ceramiczne należą w zasadzie do tworzyw krystalicznych, jakkolwiek mogą mieć pewien udział fazy amorficznej. Cechuje je duża twardość i kruchość. Przeważnie są izolatorami elektrycznymi i cieplnymi, o znacznej odporności na korozję. Wadą ich są złe właściwości technologiczne, przez co wymagają specjalnych technik przetwarzania. Właściwości predestynują materiały ceramiczne do specjalnych zastosowań, np. do wyrobu elementów żaroodpornych, elektroizolacyjnych, termoizolacyjnych oraz jako specjalne materiały narzędziowe (ostrza narzędzi skrawających, środki ścierne i polerskie) [11].

Klasyczny proces produkcji wyrobów ceramicznych polega na dokładnym wymieszaniu odpowiednich surowców, zaformowaniu, wysuszeniu i wypaleniu (jednokrotnym lub wielokrotnym). Proces wypalania odbywa się w piecach: tunelowych, komorowych (ceramika budowlana sanitarna itp.) oraz w piecach grafitowych i innych, często o kontrolowanej atmosferze wypalania (ceramika specjalna). Temperatura wypalania mieści się w zakresie od 900°C (ceramika budowlana) do 2000°C (ceramika węglkowa) wyroby o czerepie porowatym (nasiąkliwość wagowa waha się od 6% do 22%) – do grupy tej należą [2, 4, 11]:

- wyroby ceglarskie, czyli cegły, pustaki ścienne i stropowe, dachówki, sączki drenarskie itp.,
 - wyroby glazurowane – kafle piecowe, płytki ścienne,
 - wyroby ogniotrwałe – np. wyroby szamotowe, krzemionkowe, termalitowe,
- wyroby o czerepie zwartym (o nasiąkliwości wagowej do 6%) – porcelana, kamionka, klinkier, terakota,
- ceramika półszlachetna – wyroby fajansowe i porcelanowe np. wyposażenie łazienek (umywalki, sedesy itp.).

Pośród szerokiej gamy materiałów ceramicznych wyszczególnić możemy szkła.

Szkłem nazywamy substancję organiczną lub nieorganiczną, która podczas ochładzania przeszła w stan szklisty (ciecz przechłodzona), cechujący się bardzo dużą lepkością, sztywnością, odpornością chemiczną i zwykle przezroczystością. Szkła mają w zasadzie strukturę amorficzną, ale można też wytwarzać szkła krystaliczne o znacznie korzystniejszych właściwościach. Gęstość takiego szkła mieści się w granicach $2,1 \div 6,5 \text{ g/cm}^3$.

Szkło można sklasyfikować wg różnych kryteriów: zastosowania, składu chemicznego, wyglądu, sposobu formowania itp.

Przykładowy podział szkła ze względu na zastosowanie:

- płaskie (okienne),
- do wyrobu opakowań (np. butelki),
- gospodarcze,
- oświetleniowe,
- techniczne,
- optyczne,
- piankowe,
- włókniste.

Przykładowy podział szkieł ze względu na skład:

- kwarcowe (SiO_2),
- krzemowo-sodowo-wapniowe,
- borowe (z B_2O_3),
- krzemowo-glinowo-sodowe,
- krzemowo-sodowo-potasowo-wapniowe,
- litowe,
- ołowiowe,
- inne.

Przykładowy podział szkieł ze względu na wygląd:

- przezroczyste (bezbarwne lub barwne),
- o ograniczonej przezroczystości – zmatowane (tzw. mleczne),
- opalizujące,
- metalizowane,
- kryształowe,
- inne.

Przykładowy podział szkieł ze względu na zastosowaną obróbkę cieplną:

- hartowane,
- niehartowane.

4.5. Polimery

Polimery (gr. *polymeres* – wieloczęściowy, zbudowany z wielu części) – substancje chemiczne o bardzo dużej masie cząsteczkowej, które składają się z wielokrotnie powtórzonych jednostek zwanych merami.

Przez „bardzo dużą masę cząsteczkową” rozumie się zwykle taką sytuację, gdy odjęcie lub przyłączenie jednego meru nie zmienia w zasadniczym stopniu ogólnych własności chemicznych i fizycznych związku chemicznego. Odróżnia to polimery od oligomerów, które mają jeszcze na tyle małą masę cząsteczkową, że dodanie do nich lub odjęcie jednego meru skutkuje zauważalną zmianą np. ich temperatury topnienia [2, 4, 11].

Mer – jest podstawową cząsteczką konstrukcyjną polimeru. Składa się z wielu atomów lub grupy atomów, takich jak: H, C, O, Si, Cl, F, N. Mery łączą się w łańcuchy dzięki temu, że mają pojedyncze wiązania atomowe między atomami węgla, tworząc polimery. Pomędzy merami działają wiązania atomowe, a między łańcuchami słabe siły van der Waalsa.

W monomerze występują podwójne wiązania atomowe między wiązaniami węgla, a w merach pojedyncze.

Materiały polimeryczne, tj. tworzywa sztuczne, należą do grupy tworzyw amorficznych. Oznaczają się stosunkowo dobrymi właściwościami mechanicznymi, są elektroizolatorami oraz są bardzo odporne na działanie czynników chemicznych. Zaletą ich jest mały ciężar właściwy, a wadą – mała odporność na działanie temperatur przekraczających 200-300°C (organiczne związki węgla z wodorem i tlenem). Aktualnie obserwuje się ogromny wzrost zastosowań tworzyw sztucznych, coraz skuteczniej konkurujących z materiałami metalicznymi w zakresie elementów maszyn i zdecydowanie wypierających metale i szkło w zakresie opakowań albo metale i drewno w zakresie elementów wystroju wnętrz i taboru komunikacyjnego. Jednym z powodów wzrostu produkcji tworzyw sztucznych jest możliwość wydatnego powiększenia ich cech mechanicznych przez tzw. zbrojenie kompozyty), np. włóknami metalicznymi lub ceramicznymi (szkło, węgiel) [7, 8, 11].

Tworzywa sztuczne można klasyfikować wg różnych kryteriów. Najczęściej stosowany jest podział wg struktury polimeru (własności reologicznych) na:

- elastoplasty (elastomery),
- plastomery,
 - termoplasty,
 - duroplasty (duromery),

Termoplasty mięknią ze wzrostem temperatury, duroplasty nie mięknią, nie topią się, lecz ulegają rozkładowi. Elastoplasty znacznie się rozciągają pod

wpływem sił zewnętrznych, a po ich zwolnieniu wracają do wyjściowych wymiarów. Duroplasty możemy podzielić na termo- i chemoutwardzalne.

Ogólnie polimery możemy podzielić także wg następujących kryteriów:

- ze względu na ich pochodzenie,
- ze względu na topologię cząsteczek, czyli ich ogólny kształt przestrzenny,
- ze względu na jednorodność budowy,
- ze względu na budowę chemiczną.

Podział ze względu na pochodzenie

- polimery syntetyczne – są to polimery pochodzące w 100% z syntezy chemicznej zaczynającej się od prostych monomerów,
- polimery naturalne – są to polimery wytwarzane w 100% przez organizmy żywe; są to m.in. celuloza, białka, kwasy nukleinowe,
- polimery modyfikowane – są to polimery naturalne, które jednak zostały sztucznie zmodyfikowane chemicznie, zwykle w celu zmiany ich własności użytkowych np.: octan celulozy, białko modyfikowane, skrobia modyfikowana.

Podział ze względu na topologię [7, 8, 11]

- **polimer liniowy** – są to polimery, w których łańcuchy główne są proste i nie mają żadnych rozgałęzień np: wysokociśnieniowy polietylen lub teflon;
- **polimer rozgałęziony** – są to polimery, w których łańcuchy główne są w ten czy inny sposób rozgałęzione – wyróżnia się tutaj:
- **polimer bocznołańcuchowy** – w którym, krótkie, boczne łańcuchy są regularnie bądź nieregularnie rozmieszczone wzdłuż głównego łańcucha;
- **polimer rozgałęziony wielokrotnie** po angielsku *hyperbranched*, w którym występuje wiele wielokrotnych rozgałęzień, tak że nie da się już wyróżnić głównego łańcucha;
- **polimer gwiazdowy** – w którym z jednego centralnego punktu wybiega kilka do kilkunastu „ramion” będących zwykłymi liniowymi łańcuchami;
- **dendrymer** – są to polimery rozgałęzione wielokrotnie, ale w bardzo regularny sposób, tworzące struktury podobne do fraktali;
- **polimer drabinkowy** – są to polimery, w których występują dwa równoległe łańcuchy główne połączone od czasu do czasu, krótkimi, bocznymi łańcuchami
- **polimer usieciowany** – są to polimery, które tworzą przestrzenną ciągłą sieć, tak że nie da się już w nich wyróżnić pojedynczych cząsteczek.
- **polimer cykliczny** – stosunkowo rzadko spotykany – w którym zamiast liniowych cząsteczek występują ogromne cząsteczki cykliczne.

Podział ze względu na budowę [7, 8, 11]

- poliolefina – są to polimery zawierające tylko węgiel i wodór, w których występują długie łańcuchy węglowe -C-C-C-. Do najbardziej znanych przykładów zaliczają się polietylen, polipropylen i polistyren;
- polimer winylowy – są to polimery otrzymywane w wyniku rozerwania wiązań C = C występujących w monomerach, na skutek czego powstają długie łańcuchy węglowe; formalnie rzecz biorąc, większość poliolefin również należy do polimerów winylowych, ale zazwyczaj rozumie się pod tą nazwą takie polimery jak poliakrylan, polimetakrylan, polichlorek winylu itp., a więc zawierające oprócz węgla i wodoru także inne atomy;
- poliester – są to polimery, w których w głównych łańcuchach występują wiązania estrowe;
- polieter – są to polimery, w których w głównych łańcuchach występują wiązania eterowe, najbardziej znanym przedstawicielem jest poli(tlenek etylenu);
- poliamid – są to polimery w których występuje wiązanie amidowe (-NH-C(O));
- poliuretan – są to polimery, w których występują wiązania uretanowe (-NH-C(O)-O);
- polimer nieorganiczny – są to polimery, w których w głównych łańcuchach nie występują atomy węgla, takie jak polisiloksan, polifosfazen, polisiarcezek i wiele innych;
- polipeptydy, poli(węglowodany), kwasy nukleinowe – to wszystko są biopolimery.

Zastosowania polimerów

- tworzywa sztuczne,
- farby i lakiery,
- kleje i podobne środki powierzchniowo czynne,
- polimery ciekłokrystaliczne,
- membrany i inne materiały o zdolnościach rozdzielczych,
- mikrosfery polimerowe.

Przykłady polimerów

- polietylen (PE) – pojemniki, zabawki, folie, jest bardzo odporny chemicznie i łatwo się go barwi na żywe kolory,
- polipropylen (PP) – bardziej wytrzymały niż polietylen (wyższa temperatura topnienia) np. wykładziny, rury, ale jest trudniejszy w obróbce, mniej odporny chemicznie,
- polistyren (PS) – tworzywo konstrukcyjne, kruche, ale wytrzymałe na zgniatanie;
- poliakrylonitryl (PAN) – popularna „anilana” – podstawowy składnik tzw. sztucznego jedwabiu,

- politereftalan etylenu – (PET) – tworzywo przezroczyste, z którego produkuje się większość plastikowych butelek, oraz jest też stosowane jak sztuczne włókno (patrz polartec),
- politlenek etylenu (PEO) – „sztuczna stal” – tworzywo konstrukcyjne o bardzo dużej wytrzymałości na rozciąganie i skręcanie,
- polichlorek winylu (PCW, PVC) – wykazuje dużą odporność na działanie stężonych kwasów i zasad, produkuje się z niego panele podłogowe, rurki i węże, często występuje jako składnik klejów i lakierów,
- nylon – mocny, rozciągliwy, liny, sztuczne włókna,
- kauczuk syntetyczny – cała grupa polimerów o własnościach elastycznych,
- politetrafluoroetylen (PTFE) znany pod handlową nazwą teflon – posiada wyjątkowo niską energię powierzchniową oraz jest wyjątkowo odporny chemicznie, ma też dość wysoką odporność termiczną, ale jest bardzo kosztowny i trudny w obróbce,
- polimetakrylan metylu (PMM) (szkło organiczne, pleksiglas, plexi) – tworzywo o dużej przezroczystości, w zakresie światła widzialnego i UV; stosuje się go do wyrobu płyt, rur, prętów jest stosowany w medycynie i stomatologii, a także w przemyśle lotniczym i motoryzacyjnym do wyrobu bezpiecznych szyb, szkiełek zegarów i przyrządów optycznych,
- polisiloksan – cała gama tworzyw, od kauczuków i żeli stosowanych w medycynie po tworzywa konstrukcyjne, farby i smary.

4.6. Kompozyty

Kompozyty są to materiały zazwyczaj dwuskładnikowe, składające się z zbrojenia (wzmocnienia) w postaci wysokowytrzymałych włókien oraz osnowy (spoiwa), którą może być polimer (tworzywo sztuczne), jak i metal, bądź materiał ceramiczny.

Składniki te posiadają różne właściwości, a w wyniku połączenia otrzymuje się materiał o wyższych właściwościach, albo dodatkowych w stosunku do składników wziętych osobno. Dodatkową charakterystyczną cechą kompozytów są ich wyraźne własności anizotropowe – różna wytrzymałość i sztywność w różnych kierunkach działania obciążeń. Istotne jest też to, że można projektować ich strukturę tak, aby uzyskać żądane właściwości. Z tego względu kompozyty znalazły szerokie zastosowanie we współczesnej technice.

Kompozyty klasyfikuje się według rodzaju i kształtu fazy umacniającej oraz typu osnowy. Wyszczególnia się kompozyty umacniane cząstkami ziarnistymi, włóknami lub warstwami w laminatach. Z kolei kompozyty umacniane włóknami można podzielić na umacniane włóknami ciągłymi (roving) i krótkimi (ciętymi),

a w zależności od kierunku ułożenia włókien mogą być kompozyty umacniane włóknami równoległymi lub nierównoległymi.

Odrębnym rodzajem kompozytu jest laminat, czyli kompozyt warstwowy umacniany warstwami papieru, drewna, tkanin podczas gdy osnowę stanowi żywica syntetyczna. Występują także laminaty typu „plaster miodu” lub kompozyty warstwowe o osnowie metalowej [4, 11].

Podział kompozytów ze względu na materiał osnowy:

- kompozyty o osnowie polimerowej,
- kompozyty o osnowie ceramicznej,
- kompozyty o osnowie metalowej.

Właściwości kompozytów zależą nie tylko od osnowy, lecz również w sposób zasadniczy od ich wzmocnienia i rodzaju materiału wzmocniającego.

Do wzmocnienia kompozytów konstrukcyjnych stosowane są następujące rodzaje włókien:

- metalowe,
- węglowe ewentualnie grafitowe,
- szklane,
- borowe,
- korundowe (Al_2O_3)
- węgla krzemu (SiC),
- organiczne typu Kevlar (np. aramidowe).

Wspólną ich cechą charakterystyczną jest niska gęstość: 1,44-3,95 g/cm³.

- najczęściej celem tworzenia kompozytu jest podwyższenie własności mechanicznych:
 - sztywności,
 - wytrzymałości,
 - odporności na pękanie,
 - odporności na ścieranie,
- różnorodność celów tworzenia kompozytów jest bardzo duża, np:
 - obniżenie ciężaru,
 - obniżenie kosztów,
 - obniżenie modułu sprężystości, np. pianki (polimer + powietrze),
 - zmiana przewodności cieplnej i elektrycznej,
 - zmiana współczynnika rozszerzalności cieplnej.

4.7. Obróbka cieplna i cieplno-chemiczna

Własności wytrzymałościowe i technologiczne stali są związane z jej mikrostrukturą zależną w zasadniczy sposób od obróbki cieplnej, tj. od różnorodnych zabiegów cieplnych, którym stal podlegała. Wykorzystując fizykochemiczne

zjawiska występujące przy ogrzewaniu i oziębianiu stali, można doprowadzić do wytworzenia się w niej najbardziej pożądaných składników strukturalnych, nadających jej określone własności wytrzymałościowe.

I tak np. w celu wykonania obróbki skrawaniem stal wyżarza się zmiękczająco lub normalizuje, w wyniku czego powstaje struktura ferrytyczno-perlityczna, odznaczająca się małą twardością i wytrzymałością, ale dość znaczną ciągliwością. Własności takie ułatwiają wykonanie obróbki wiórowej, więc w tym przypadku są one pożądane w procesie wytwarzania elementu konstrukcyjnego.

W gotowym wyrobie, podlegającym znacznym naprężeniom, struktura ferrytyczno-perlityczna często nie zapewnia wystarczającej wytrzymałości i twardości. W celu polepszenia tych własności, przy jednoczesnym uzyskaniu dobrej ciągliwości i udatności, stosuje się ulepszenie cieplne, polegające na hartowaniu i odpuszczaniu w odpowiednio wysokiej temperaturze [2, 11].

Stal w stanie ulepszonym jest materiałem konstrukcyjnym znacznie bardziej wartościowym niż ta sama stal w stanie nieulepszonym. Dlatego jest regułą, że wysokojakościową stal konstrukcyjną, zwłaszcza stopową, należy stosować jedynie w stanie ulepszonym.

Z kolei wyroby podlegające ścieraniu (np. narzędzia) powinny odznaczać się bardzo dużą twardością. Wykorzystuje się wtedy wysoką twardość jaką odznacza się struktura martenzytyczna powstająca przy hartowaniu.

Obróbka cieplna jest to zespół odpowiednio dobranych zabiegów cieplnych prowadzących do zmiany właściwości stali poprzez zmiany struktury w stanie stałym w wyniku zmian temperatury i czasu.

Ze względu na czynniki wpływające na kształtowanie struktury oraz właściwości metali i stopów można wyróżnić następujące rodzaje obróbki cieplnej [6, 7, 8, 11]:

- obróbkę cieplną zwykłą,
- obróbkę cieplno-chemiczną,
- obróbkę cieplno-mechaniczną (zwaną także obróbką cieplno-plastyczną),
- obróbkę cieplno-magnetyczną.

Każdy proces obróbki cieplnej składa się z operacji i zabiegów. Operacja obróbki cieplnej jest to część procesu technologicznego (np. hartowanie, wyżarzanie) wykonywana w sposób ciągły, przeważnie na jednym stanowisku roboczym

Podstawowymi parametrami, które decydują o przemianach fazowych są:

- szybkość nagrzewania,
- temperatura wygrzewania,
- czas nagrzewania, wygrzewania i chłodzenia,
- szybkość chłodzenia w zależności od temperatury wygrzewania.

Nagrzewanie i chłodzenie materiału może przebiegać w sposób ciągły lub stopniowy. Podczas nagrzewania stopniowego rozróżnia się: **podgrzewanie** – nagrzewanie do temperatury pośredniej i **dogrzewanie** – nagrzewanie do temperatury wygrzewania.

Podobnie podczas chłodzenia stopniowego wyróżniamy pojęcia: **podchładzanie** – chłodzenie do temperatury pośredniej oraz **wychładzanie** – chłodzenie do temperatury końcowej.

Obróbka cieplna stopów żelaza – zabieg dokonywany na stopach żelaza z węglem takich jak stal, staliwo lub żeliwo, w czasie którego pod wpływem ciepła i innych działań modyfikuje się niektóre własności fizyczne tych stopów.

Podstawowymi rodzajami obróbki cieplnej stopów żelaza są [6, 7, 8, 11]:

- hartowanie – stosowane w tylko dla stali,
- przesycanie,
- odpuszczanie,
- ulepszanie,
- wyżarzanie.

Obróbka cieplna ma na celu zmianę właściwości poprzez zmianę struktury, lecz bez zmiany kształtu obrabianego przedmiotu.

Hartowanie – jest zabiegiem cieplnym, któremu poddawana jest stal, składającym się z dwóch bezpośrednio po sobie następujących faz. Pierwsza faza to nagrzewanie do temperatury powyżej przemiany austenicznej (dla stali węglowej 723°C) (zwykle 30°C do 50°C powyżej temperatury przemiany austenicznej) i wygrzewanie, tak długo jak to potrzebne, by nastąpiła ona w całej objętości hartowanego obiektu.

Stale wysokostopowe (nierdzewne, szybkotnące) nagrzewa się do temperatur znacznie wyższych (1100-1200°C) w celu rozpuszczenia się w austenicie węglików i maksymalnego nasycenia roztworu stałego pierwiastkami stopowymi [7, 8, 11].

Drugą fazą jest szybkie schładzanie. Szybkość schładzania musi być taka, by z austenitu nie zdążył wydzielić się cementyt i jego struktura została zachowana do temperatury przemiany martenzytycznej, w której to austenit przemienia się w fazę zwaną martenzytem

Hartowanie przeprowadza się, by podnieść twardość i wytrzymałość stali.

W zależności od sposobu chłodzenia wyróżnia się:

- hartowanie zwykłe,
- hartowanie stopniowe,
- hartowanie izotermiczne (bainityczne),
- hartowanie objętościowe,
- hartowanie powierzchniowe,
 - indukcyjne,

- płomieniowe,
- kąpielowe,
- wiązkowe (laserowe, elektronowe, jonowe).

Do porównywania hartowności różnych gatunków stali często podaje się maksymalną średnicę pręta, przy której zostaje on zahartowany na wskroś.

Przy hartowaniu niezwykle istotny jest dobór szybkości schładzania. Zbyt wolne schładzanie powoduje wydzielanie się cementytu i uniemożliwia przemianę martenzytyczną, podczas gdy zbyt szybkie chłodzenie powoduje powstanie zbyt dużych **naprężeń hartowniczych**, które mogą doprowadzić do trwałych odkształceń hartowanego elementu lub jego pęknięć.

Prędkość schładzania wpływa także na głębokość hartowania. Przy elementach o większych rozmiarach, których grubość przekracza maksymalną głębokość hartowania, tylko część objętości przedmiotu hartowanego zostanie zahartowana.

Odpuszczanie – jest zabiegiem cieplnym, któremu jest poddawana stal wcześniej zahartowana. Celem odpuszczania jest usunięcie naprężeń hartowniczych oraz zmiana własności fizycznych zahartowanej stali, a przede wszystkim zmniejszenie twardości, a podniesienie udarności zahartowanej stali [7, 8, 11].

Odpuszczanie polega na rozgrzaniu zahartowanego wcześniej przedmiotu do temperatury w granicach od 150° do 650°C, przetrzymywaniu w tej temperaturze przez pewien czas, a następnie schłodzeniu.

Ze względu na temperaturę może być:

Odpuszczanie niskie – przeprowadza się je w temperaturach od 150° do 250°C. Celem jego jest zachowanie wysokiej twardości. Stosuje się przy narzędziach.

Odpuszczanie średnie – przeprowadza się je w temperaturach od 250° do 500°C. Stosowane w celu uzyskania wysokiej wytrzymałości i sprężystości przy znacznym obniżeniu twardości. Stosowane przy obróbce sprężyn, resorów, części mechanizmów pracujących na uderzenie np. młoty, części broni maszynowej, części samochodowych itp.

Odpuszczanie wysokie – przeprowadza się je w temperaturach powyżej 500°C w celu uzyskania wysokiej wytrzymałości przy niskiej twardości. Stal odpuszczana wysoko nadaje się do obróbki skrawaniem.

Ulepszanie cieplne – jest zabiegiem cieplnym polegającym na połączeniu hartowania z wysokim odpuszczaniem. Stosowany na odpowiedzialne wyroby stalowe, które są poddawane obróbce skrawaniem, takie jak wały okrętowe i samochodowe, wały korbowe, części broni maszynowej itp.

Wyżarzanie – jest zabiegiem ciepłym polegającym na nagrzaniu elementu do odpowiedniej temperatury, przetrzymanie w tej temperaturze jakiś czas, a następnie powolne schłodzenie. Wyżarzanie przeprowadza się w różnych celach, w zależności od temperatury w jakiej jest prowadzone [7, 8, 11].

Wyżarzanie zupełne – przeprowadzane w temperaturze 30° do 50°C temperatury przemiany austenitycznej, powyżej linii GSE wykresy żelazo-węgiel, wygrzaniu w tej temperaturze, a następnie powolne schłodzenie, zwykle wraz z piecem. Stosuje się je w celu uzyskania drobnoziarnistej struktury, zwykle do staliwnych odlewów.

Wyżarzanie normalizujące (normalizowanie) – przeprowadzane w temperaturze 30° do 50°C temperatury przemiany austenitycznej, kiedy tworzy się już czysty austenit bez udziału ledeburytu powyżej linii GSE wykresu żelazo-węgiel, a następnie studzenie w powietrzu. Otrzymuje się w ten sposób jednolitą strukturę i usuwa naprężenia, powstałe w czasie poprzedniej obróbki. Normalizowaniu poddaje się wyższej jakości wyroby hutnicze oraz przedmioty przeznaczone do dalszej obróbki cieplnej, np. połączeniu hartowania.

Wyżarzanie zmiękcżające (sferoidyzacja) – przeprowadzane w temperaturze zbliżonej do temperatury przemiany austenitycznej. Zwykle najpierw wygrzewa się w temperaturze około 15°C powyżej linii PSK wykresu żelazo-węgiel, następnie 15°C poniżej tej temperatury, po czym następuje powolne schładzanie. Taki zabieg sprzyja wydzielaniu się cementytu w postaci kulkowej, sferoidalnej, co podwyższa obrabialność skrawaniem stopu. Takiemu wyżarzaniu poddaje się stale, staliwa i żeliwa.

Wyżarzanie rekrytalizujące (rekrytalizacja) – przeprowadzane w temperaturach od 550° do 650°C. Poddaje się mu wyroby wcześniej obrabiane plastycznie na zimno w celu usunięcia niekorzystnego wpływu zgniotu.

Wyżarzanie odprężające – przeprowadzane w temperaturach od 400° do 500°C. W tych temperaturach stop zyskuje znaczną plastyczność, co umożliwia usunięcie wewnętrznych naprężeń poprzez zamienienie ich na odkształcenia plastyczne.

Wyżarzanie ujednorodniające – przeprowadzane w temperaturach od 1000° do 1200°C w celu ujednorodnienia składu chemicznego stali w całym przekroju, jeśli wskutek błędów w poprzednich operacjach nie uzyskano takiej jednolitości.

Wyżarzanie grafityzujące (grafityzacja) – stosuje się w stosunku do żeliwa białego w celu uzyskania żeliwa ciąglego. W czasie tego typu wyżarzania cementyt rozkłada się na ferryt i grafit.

Wyżarzanie stabilizujące (stabilizowanie) – przeprowadzane w temperaturach od 100° do 150°C i trwa od kilku do kilkudziesięciu minut, w stosunku do wyrobów odlewniczych w celu usunięcia naprężeń odlewniczych.

Przesycanie – jest zabiegiem cieplnym, któremu poddawana jest stal w celu stabilizacji austenitu. Polega na:

- 1) nagrzaniu stali do temperatury, w której wydzielona faza przechodzi do roztworu stałego, tj. powyżej temperatury granicznej rozpuszczalności,
- 2) wygrzaniu w tej temperaturze,
- 3) oziębieniu w celu zatrzymania rozpuszczonego składnika w roztworze przesyconym.

Różnicą pomiędzy hartowaniem a przesycaaniem jest to, że przy przesycaaniu unika się zajścia przemiany martenzytycznej.

W związku z tym, przesycaanie daje się zastosować tylko dla stali, w których początek przemiany martenzytycznej jest niższy od temperatury otoczenia, czyli dla stali wysokowęglowych lub zawierających dodatki stopowe obniżające tę temperaturę i stabilizujących austenit, takich jak chrom. Uzyskanie stabilnego austenitu zwiększa odporność stali na korozję. Przesycaanie zwykle stosuje się dla stali nierdzewnych i kwasoodpornych.

W stanie przesyconym stop ma większą plastyczność, natomiast twardość i wytrzymałość ulegają zmniejszeniu.

Przesycaanie stosowane jest np. do stali chromowo-niklowej o strukturze austenitycznej (stale kwasoodporne) lub o dużej zawartości manganu. Stale te nagrzewa się do temperatury ok. 1100°C i następnie oziębia się w wodzie. Celem tego zabiegu jest rozpuszczenie węglików i uzyskanie jednorodnej struktury austenitycznej. Obróbka taka zwiększa przede wszystkim odporność na korozję międzykrystaliczną stali typu 18-8 (18% Cr, 8% Ni).

Starzenie polega na nagrzaniu stopu uprzednio przesyconego do temperatury poniżej granicznej rozpuszczalności drugiego składnika, wygrzaniu w tej temperaturze i powolnym chłodzeniu.

Podczas procesu z roztworu przesyconego wydziela się składnik znajdujący się w nadmiarze w postaci drobnodispersyjnych faz. Jeżeli proces starzenia zachodzi w temperaturze pokojowej, to nosi nazwę starzenia samorzutnego lub naturalnego. Starzenie powoduje poprawę właściwości wytrzymałościowych i twardości oraz pogorszenie plastyczności.

Obróbka cieplno-chemiczna jest zabiegiem wytwarzania warstw powierzchniowych poprzez wprowadzenie do struktury materiału obcego pierwiastka na drodze dyfuzji w podwyższonych temperaturach. Celem tego procesu jest uzyskanie żądanych właściwości w warstwie wierzchniej najczęściej podwyższonej twardości i odporności na ścieranie (ale także np. odporności korozyjnej) przy zachowaniu niezmiennych właściwości rdzenia przedmiotu obrabianego.

Obróbka cieplno-chemiczna stopów żelaza – zabieg dokonywany na stopach żelaza z węglem takich jak stal, staliwo lub żeliwo, w którym pod wpływem ciepła i chemicznego oddziaływania otoczenia oraz innych działań modyfikuje się niektóre własności fizyczne i chemiczne tych stopów.

Podstawowymi rodzajami obróbki cieplno-chemicznej są:

- nawęglanie,
- azotowanie,
- węgloazotowanie.

Nawęglanie jest zabiegiem cieplnym polegającym na dyfuzyjnym nasyceniu węglem warstwy powierzchniowej stalowego elementu. Do nawęglania używa się stali niskowęglowej, by podnieść twardość powierzchni, a co za tym idzie odporność na ścieranie.

Nawęglanie w proszkach

Przedmiot umieszczany jest w specjalnej skrzynce wypełnionej sproszkowanym węglem drzewnym, najczęściej dębowym, bukowym lub brzożowym, wymieszanym z środkami przyspieszającymi nawęglanie takimi jak węglan baru, węglan sodu itp. Nawęglanie proszkowe prowadzi się w temperaturze około 900-950°C. Przedmiot nawęglony często hartuje się powierzchniowo.

Nawęglanie gazowe

Przedmiot umieszcza się w atmosferze gazowej, najczęściej gazu ziemnego lub inny gaz powstały przy rozkładzie produktów naftowych. Nawęglanie gazowe prowadzi się w temperaturach 850-950°C przy stałej cyrkulacji gazu w specjalnych piecach mufłowych. Nawęglanie gazowe jest bardziej skomplikowane od proszkowego oraz wymaga specjalnych instalacji, lecz jest dokładniejsze i znacznie szybsze.

Azotowanie – jest zabiegiem cieplnym polegającym na dyfuzyjnym nasyceniu azotem warstwy powierzchniowej stalowego elementu. Azot wiąże się z żelazem oraz innymi dodatkami stopowymi, zwłaszcza aluminium, tworząc azotki utwardzające warstwę powierzchniową stali. Do azotowania używa się stali węglowej niskostopowej i stopowej. Jako medium używa się amoniaku. W temperaturze 500°C, w której przeprowadzane jest azotowanie, wydziela się z niego azot.

Po azotowaniu, azotki żelaza, a w szczególności aluminium i chromu, tworzą cienką, nieprzekraczającą 0,6 mm, oraz bardzo twardą i odporną na ścieranie warstwę na powierzchni stali. Azotowanie jest procesem bardzo długotrwałym, a jego czas dochodzić może nawet do 100 godzin. Po azotowaniu, stal poddaje się hartowaniu z wolnym chłodzeniem, nie szybszym niż 5°C na minutę. Zbyt szybkie schładzanie może doprowadzić do łuszczenia się warstwy azotowanej.

Twardość powierzchni azotowanej dochodzi do 1100 HV i jest zachowana w podwyższonych temperaturach dochodzących do 550°C.

Obróbka cieplno-chemiczna, polegająca na jednoczesnym dyfuzyjnym nasyceniu węglem i azotem przypowierzchniowych stref przedmiotu, dzieli się na:

- azotonawęglanie przeprowadzane zwykle w zakresie temperatury 800-880°C, w którym dominuje dyfuzja węgla,

- węglazotowanie przeprowadzane zwykle w zakresie temperatury 500-600°C, w którym dominuje dyfuzja azotu.

Zależnie od sposobu przeprowadzania procesu rozróżnia się azotonawęglanie gazowe, w przypadku stosowania atmosfery gazowej, oraz azotonawęglanie kąpielowe w przypadku stosowania kąpeli cyjanowych.

Azotonawęglanie stosuje się do różnego rodzaju części maszyn i urządzeń (np. maszyn do pisania, broni, silników motocyklowych itd.) ze stali o małej i średniej zawartości węgla zarówno węglowych, jak i stopowych. Ostateczne własności warstwy przypowierzchniowej, podobnie jak po nawęglaniu, uzyskuje się dopiero po hartowaniu i niskim odpuszczaniu. Łączny proces azotonawęglania, hartowania i niskiego odpuszczania nazywa się azotowęgloutwardzaniem [7, 8, 11].

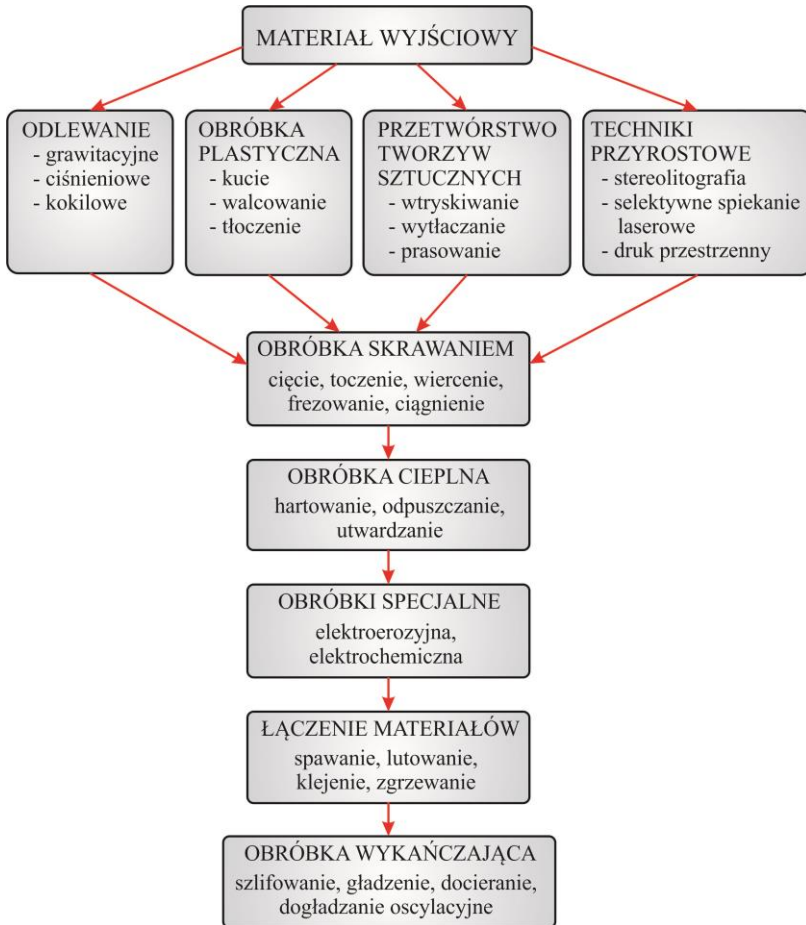
Literatura

- [1] Informator Wyroby Hutnictwa Żelaza 2008 – VII wydanie, s. 112.
- [2] **Ashby M.F., Jones D.R.**, Materiały inżynierskie, cz.I i II, WNT, Warszawa 1998.
- [3] **Dobrzański L.**, Podstawy metodologii projektowania materiałowego, Wyd. Politechniki Śląskiej, Gliwice 2009.
- [4] **Dobrzański L.**, Nietalowe materiały inżynierskie, Wyd. Politechniki Śląskiej, Gliwice 2009.
- [5] **Dobrzański L.A.**, Podstawy nauki o materiałach i metaloznawstwo, WNT, Warszawa 2002.
- [6] **Przybyłowicz J.**, Metaloznawstwo w pytaniach i odpowiedziach, WNT, Warszawa 2004.
- [7] **Potrykusa J.** (red.), Poradnik mechanika, REA, Warszawa 2008.
- [8] **Reymer B.** (red), Mały poradnik mechanika. Nauki matematyczno-fizyczne, metaloznawstwo, 1996.
- [9] <http://stopy.atSPACE.biz/index.htm>
- [10] <http://www.stale-metale.pl/>
- [11] www.wikipedia.pl
- [12] <http://www.jaswal.ps.pl>
- [13] www.the-warren.org
- [14] www.fendlind.net
- [15] www.msn.cam.ac.uk
- [16] www.newworldencyclopedia.org
- [17] www.en.wikipedia.org

5. TECHNIKA WYTWARZANIA

5.1. Technika wytwarzania – definicje

Technika wytwarzania (definicja) – jest to zbiór metod i sposobów wytwarzania wraz z opisem dobranych do tego celu środków technicznych oraz zaleceń co do ich stosowania, przy realizacji danego procesu wytwórczego [3].



Rys. 5.1. Ogólny schemat technik wytwarzania

Poznanie wszechstronnej wiedzy o właściwościach, zastosowaniach i kierunkach rozwoju poszczególnych technik wytwarzania, jest niezbędne, aby współczesny proces budowy maszyn był nowoczesny i optymalny. Ze względu na ogromną różnorodność metod kształtowania, łączenia i wykańczania wybór sposobu wytwarzania wyrobu jest trudny i jest problemem najlepszego dopasowania istotnych cech tej metody do wymagań projektowych. Współczesne techniki wytwarzania można sklasyfikować w ośmiu grupach:

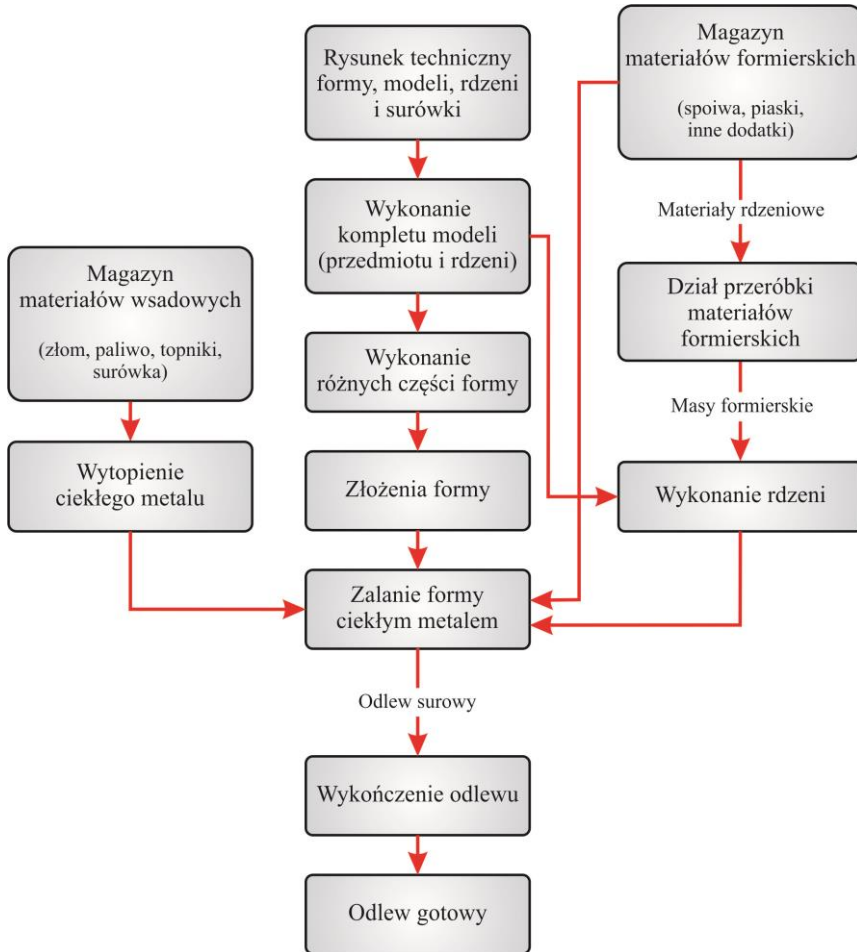
- odlewanie,
- obróbka plastyczna,
- obróbka skrawaniem,
- przetwórstwo tworzyw sztucznych,
- obróbki wykańczające,
- obróbki specjalne,
- technika łączenia materiałów i techniki przyrostowe.

5.2. Odlewanie

Odlewnictwo – technologia polegająca na zalewaniu uprzednio przygotowanej formy ciekłym materiałem (najczęściej stopem metali) oraz takim sterowaniu procesami krzepnięcia i stygnięcia odlewu, aby otrzymać wyrób o odpowiedniej strukturze i właściwościach. Odlewnictwo jest gałęzią techniki zajmującą się wykonaniem detali, których kształt uzyskuje się przez zastygnięcie ciekłego metalu w odpowiednio wykonanych formach. Podstawowe materiały stosowane w tej technice to czyste metale oraz następujące stopy:

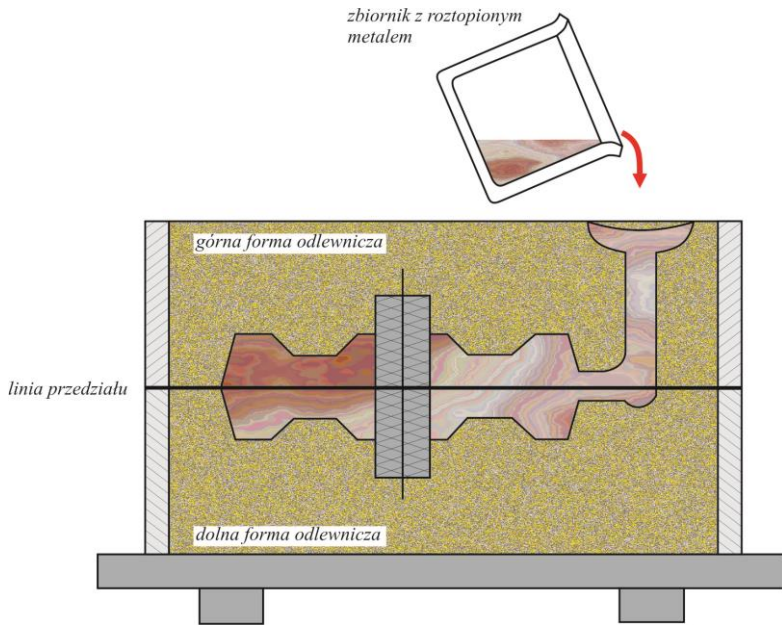
- żeliwo,
- staliwo,
- brązy,
- mosiądze.

Ogólny schemat procesu technologicznego wykonywania odlewu przedstawia rysunek 5.2.

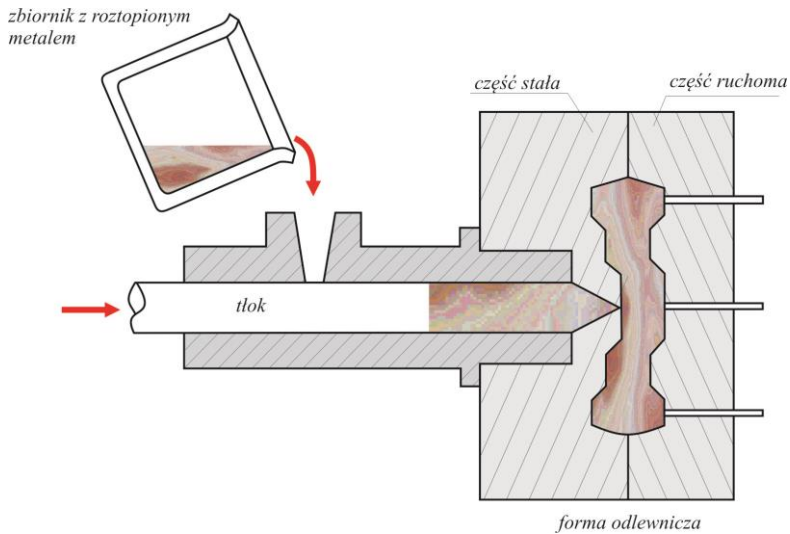


Rys. 5.2. Ogólny schemat procesu technologicznego wykonywania odlewu [2]

Przy odlewaniu ciecz jest wlewana do formy, gdzie przechodzi w stan stały w wyniku ochładzania (metal) lub reakcji chemicznej (np. polimer termoutwardzalny). W trakcie odlewania ciecz wypełnia formę pod wpływem swojego własnego ciężaru (odlewanie swobodne, grawitacyjne, (rys. 5.3)) lub pod wpływem podwyższonego ciśnienia (odlewanie odśrodkowe lub ciśnieniowe odlewanie kokilowe (rys. 5.4)).

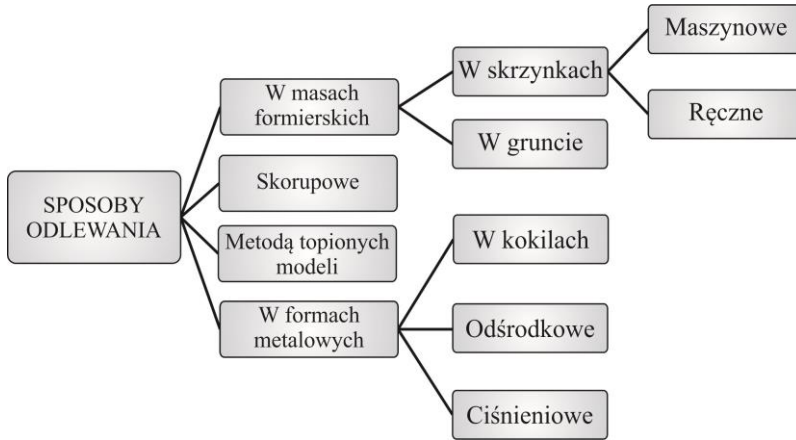


Rys. 5.3. Odlewanie grawitacyjne w formie piaskowej [1]



Rys. 5.4. Odlewanie ciśnieniowe [1]

W technologii budowy maszyn bardzo ważna jest znajomość charakterystyk różnych sposobów odlewania elementów maszynowych. Rysunek 5.5 przedstawia ogólną klasyfikację różnych sposobów odlewania.



Rys. 5.5. Ogólna klasyfikacja różnych sposobów odlewania [2]

Ogólne zasady projektowania odlewanych modeli

Kształty odlewów muszą być tak zaprojektowane, aby zapewnić łatwy przepływ cieczy do wszystkich części formy, zapewnić odpowiedni kierunek krzepnięcia oraz zapobiec powstawaniu obszarów niezakrzepniętej cieczy. Kształt odlewu musi być tak zaprojektowany, aby grubość sąsiadujących ze sobą fragmentów odlewu nie różniła bardziej niż dwukrotnie – w myśl zasady stałej wielkości przekrojów.

Kształt odlewów powinien być tak zaprojektowany, aby podczas wyjmowania nie dochodziło do klinowania się w formie. Należy unikać kształtów, które mogą prowadzić do pęknięcia odlewów w wyniku nadmiernych naprężeń rozciągających, powstałych w czasie jego kurczenia się przy ochładzaniu.

5.3. Obróbka plastyczna

Obróbka plastyczna – metoda obróbki metali polegająca na wywieraniu nacisku narzędziem na obrabiany materiał przekraczającego granicę jego plastyczności, mającego na celu trwałą zmianę kształtu i wymiarów obrabianego przedmiotu. W tej metodzie zawsze uzyskuje się poprawę własności mechanicznych. Proces kształtowania może przebiegać w warunkach: na gorąco, na półgorąco lub na zimno (klasyfikacja ta zależy od temperatury rekrytalizacji odkuwki).

Obróbka plastyczna to technika kształtowania, podczas której można:

- dokonać podziału materiału,
- nadać przedmiotowi określony kształt,
- zmienić właściwości fizykochemiczne lub właściwości struktury,
- zmienić gładkość lub kształt powierzchni,
- wywołać wewnątrz materiału określony rodzaj i wielkość naprężeń [2].

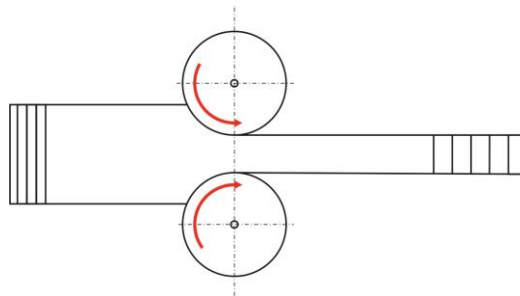
Kształtowanie przez obróbkę plastyczną może odbywać się w różnych temperaturach:

- na gorąco – podczas, której zachodzi proces rekryształizacji struktury,
- na półgorąco – następuje rekryształizacja, zgniot oraz umocnienie i zdrowienie,
- na zimno – zachodzi rekryształizacja lub zdrowienie [2].

Metody obróbki plastycznej możemy podzielić następująco:

- walcowanie,
- kucie,
- wyciskanie,
- ciągnięcie,
- tłoczenie,
- wyoblanie,
- obciążanie,

Walcowanie – to kształtowanie plastyczne przedmiotu wywołane ścisaniem metalu wprowadzonego pomiędzy parę obracających się walców.

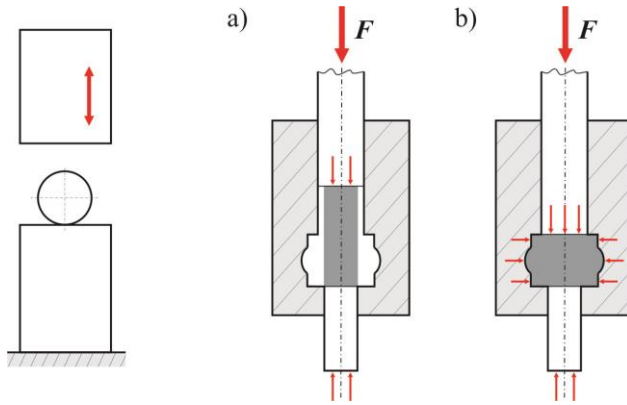


Rys. 5.6. Walcowanie płaskownika

Kucie – kształtowanie plastyczne, wywołane ścisaniem metalu za pomocą poruszających się względem narzędzi. Nacisk może być statyczny lub dynamiczny. W procesie tym nadaje się kutej materiałowi odpowiedni kształt, strukturę i własności mechaniczne.

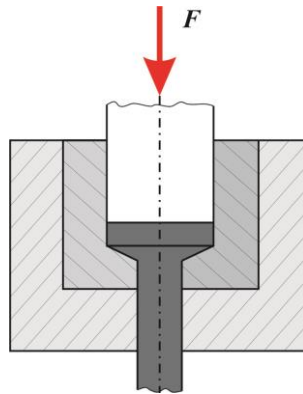
Wyróżniamy dwa rodzaje kucia:

- swobodne – polega na kształtowaniu metalu poprzez wywieranie nacisku narzędziami powodującymi jego płynięcie w kilku dowolnych kierunkach,
- matrycowe – polega na kształtowaniu metalu poprzez użycie narzędzi o złożonym kształcie powierzchni roboczych (matryc); wymaga większych nacisków niż przy kuciu swobodnym, lecz wyrób charakteryzuje się dużą równomiernością odkształcenia i dokładnością.



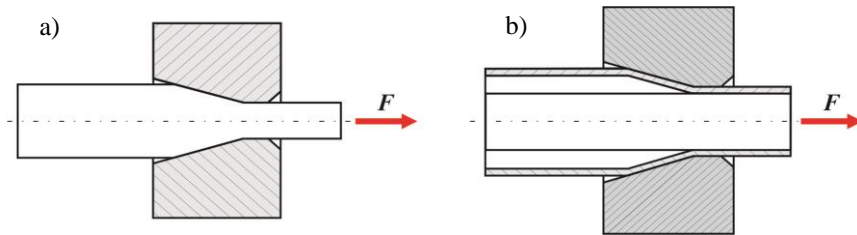
Rys. 5.7. Schemat kucia płaskim narzędziem w matrycy zamkniętej:
a) faza początkowa, b) faza końcowa

Wyciskanie – podczas wyciskania materiał umieszczony w pojemniku lub matrycy i poddany naciskowi stempla wypływa przez otwór matrycy lub szczelinę pomiędzy stemplem i matrycą, doznając wydłużenia kosztem zmniejszenia przekroju poprzecznego.



Rys. 5.8. Schemat wyciskania [2]

Ciągnienie – to proces technologiczny stosowany w metalurgii polegający na formowaniu drutu lub pręta poprzez przeciąganie materiału wyjściowego w postaci: walcówki, prasówki, poprzez otwór ciągadła, którego pole przekroju jest mniejsze niż przekrój poprzeczny przeciąganego materiału. W wyniku tego następuje zmniejszenie średnicy obrabianego przedmiotu oraz jego wydłużenie, może też nastąpić zmiana kształtu przekroju. Podczas ciągnięcia obserwujemy umocnienie materiału (zwiększenie własności wytrzymałościowych okupione zmniejszeniem własności plastycznych).



Rys. 5. 9. Przeciąganie pręta (a) i przeciąganie przekroju kołowego (rury) (b) [2]

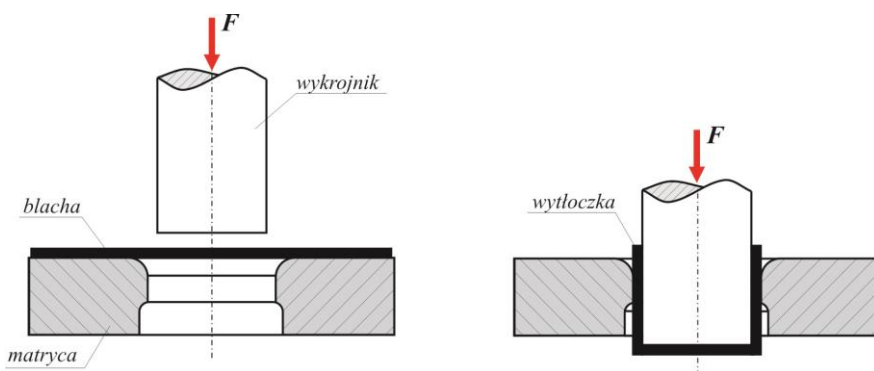
Tłoczenie – to proces kształtowania plastycznego za pomocą rozciągania i ściskania wykoju z blachy w wyrób naczyniowy. Tłoczenie obejmuje szereg różnorodnych procesów obróbki plastycznej realizowanych głównie na zimno i stosowanych do rozdzielania, kształtowania i łączenia materiałów w postaci blach, folii i płyt.

Tłoczenie należy podzielić ze względu na proces kształtowania plastycznego:

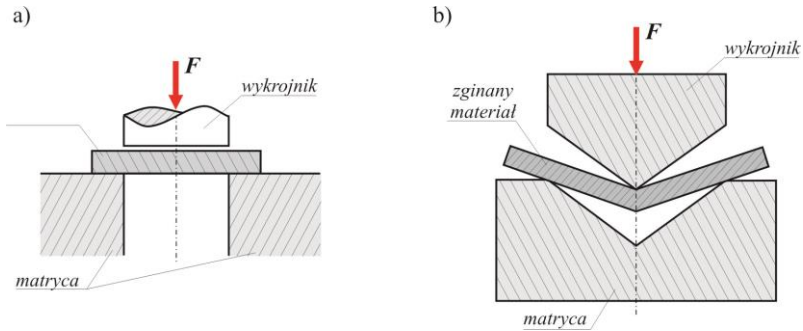
- z naruszeniem spójności materiału,
- bez naruszania spójności materiału [2].

Tłoczenie to rodzaj obróbki plastycznej obejmujący:

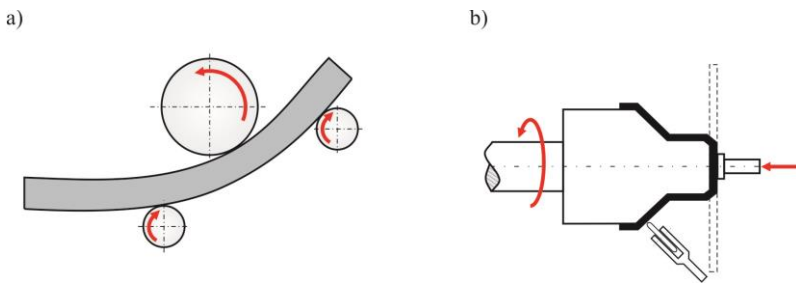
- cięcie (nacinanie, odcinanie, okrawanie, przycinanie, rozcinanie, wycinanie, wygładzanie)
- kształtowanie (dotłaczanie, profilowanie, prostowanie, przebijanie, rozpęczanie, rozłtaczanie, skręcanie, wyciąganie, wyciskanie, wyoblanie wywijanie, zaginanie, zawijanie, zwijanie)
- łączenie tłoczeniem (zaginanie, skręcanie, wywijanie, zawijanie obrzeża, zaprasowanie).



Rys. 5.10. Schemat tłoczenia [2]



Rys. 5.11. Schemat przecinania (a) i gięcia (b)



Rys. 5.12. Zawijanie blach na walcach (a) i wyoblbianie (b)

5.4. Obróbka skrawaniem

Obróbka skrawaniem – proces polegający na zdjęciu z obrabianego przedmiotu warstwy materiału, w celu uzyskania założonego kształtu, dokładności wymiarowej i gładkości powierzchni.

Rodzaje obróbki skrawaniem:

- zgrubna,
- średnio dokładna,
- dokładna,
- bardzo dokładna.

Sposoby realizacji obróbki skrawaniem:

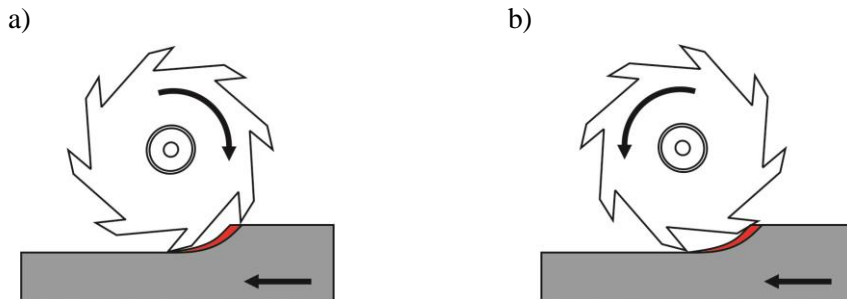
- *frezowanie* – kształtowanie płaszczyzn i rowków,
- *wiercenie* – wykonywanie otworów,
- *rozwiercanie/powiercanie* – wykańczanie i powiększanie otworów walcowych,
- *przeciąganie i przepychanie* – wykańczanie otworów niewalcowych,
- *toczenie* – do obróbki powierzchni zewnętrznych i wewnętrznych przedmiotów w kształcie brył obrotowych.

Frezowanie – obróbka mechaniczna skrawaniem płaszczyzn i powierzchni kształtowych za pomocą obracającego się wieloostrzowego narzędzia zwanego frezem. Cechą charakterystyczną frezowania jest ruch obrotowy narzędzia – freza (prostopadle do osi posuwu) z jednoczesnym ruchem posuwistym przedmiotu obrabianego względem freza lub freza względem przedmiotu obrabianego.

Frezowanie może być:

- współbieżne, kiedy ruch obrabianego przedmiotu jest zgodny z kierunkiem obrotu freza,
- przeciwbieżne, kiedy kierunki ruchu przedmiotu i obrotu freza są przeciwne.

Metodą frezowania obrabia się metale, tworzywa sztuczne, drewno. Frezowanie cechuje się największą wydajnością wśród obróbek skrawaniem i ciągłymi możliwościami rozwoju. Dokładność i chropowatość uzyskanej powierzchni zależy od warunków obróbki, właściwości frezarki, dokładności wykonania i geometrii użytego freza. Obrabiarka, na której wykonuje się frezowanie to frezarka.



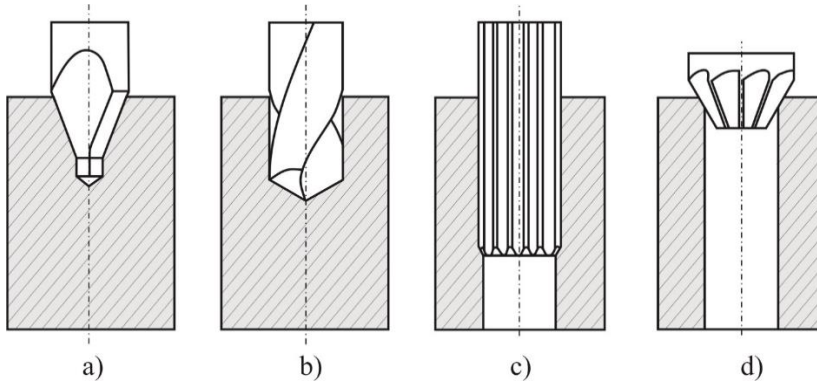
Rys. 5.13. Frezowanie współbieżne (a) i przeciwbieżne (b)

Wiercenie – jest to skrawanie materiału za pomocą narzędzia zwanego wiertłem w wyniku którego otrzymujemy otwór o przekroju najczęściej kołowym. Wiercenie odbywa się jeżeli wiertło się obraca, a przedmiot obrabiany pozostaje nieruchomy lub gdy wiertło jest nieruchome, a przedmiot obrabiany obraca się. Prędkość obrotowa i posuw zależą od średnicy wiertła oraz rodzaju obrabianego materiału.

Wiercenie wiertłem dużej średnicy w pełnym materiale jest utrudniane przez opór jaki powoduje ścin, dlatego należy wykonać wiercenie wstępne wiertłem o mniejszej średnicy.

W celu uzyskania otworów dokładnych należy zastosować wiercenie zgrubne, a następnie wykonać rozwiercanie lub pogłębianie.

Otwory pod gwinty wykonuje się wiertłami o średnicach odpowiednich dla danej wielkości i gwintu.



Rys. 5.14. Rodzaje wiercenia: a) nawiercanie, b) wiercenie w materiale, c) rozwiercanie dokładne rozwiertakiem, d) fazowanie [2]

Rozwiercanie – to kolejny etap obróbki otworu wykonanego wiertłem w celu uzyskania dużej dokładności wymiarowej oraz chropowatości powierzchni lub w celu otrzymania otworu stożkowego.

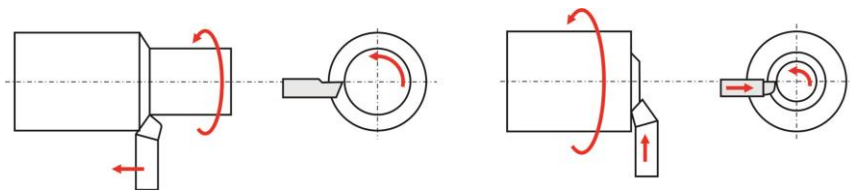
Do rozwiercania używa się rozwiertaków, które dzieli się na: zdzieraki, wykańczaki, rozwiertaki ręczne, rozwiertaki maszynowe.

Są to narzędzia wielostrzowe z zębami prostymi lub śrubowymi na części roboczej w liczbie 3-12. Podziałka zębów jest nierównomierna – większa dokładność obrabianego otworu.

W zależności od kształtu otworu wyróżniamy rozwiertaki walcowe i stożkowe

Powiercanie – jest to obróbka mająca na celu powiększenie otworu już wywierconego do większej średnicy. Dokonuje się tego wiertłami lub rozwiertakami (rys. 5.14).

Przeciąganie/przepychanie – obróbka skrawaniem, w której cały naddatek na obróbkę jest skrawany podczas jednego przejścia narzędzia, zwanego przeciągaczem, przeprowadzana na obrabiarkach (przeciągarka). Przeciąganie stosuje się do obróbki dokładnych otworów wielobocznych, wielowypustowych, rowków wpustowych oraz do obróbki powierzchni kwadratowych zewnętrznych, np.: w korbowodach, kluczach. Ze względu na znaczne koszty narzędzi przeciąganie znajduje zastosowanie wyłącznie w produkcji wieloseryjnej lub masowej.



Rys. 5.15. Toczenie powierzchni walcowej i powierzchni czołowej

Toczenie – rodzaj obróbki skrawaniem stosowany najczęściej do obrabiania powierzchni zewnętrznych i wewnętrznych przedmiotów w kształcie brył obrotowych. Istnieje możliwość uzyskiwania metodą toczenia również innych kształtów niż obrotowe. Podczas toczenia obrabiany materiał obraca się, a narzędzie (nóż tokarski) wykonuje ruch posuwisty. Na wydajność i dokładność procesu toczenia ma wpływ geometria narzędzia, dobór parametrów skrawania i właściwości obrabianego materiału. Toczenie jest procesem bardzo rozpowszechnionym wydajnym i pozwalającym na uzyskanie wysokich dokładności. Koszty obróbki nie są duże, więc z powodzeniem stosowana jest w produkcji jednostkowej jak i masowej. Obrabiarka, na której wykonuje się toczenie to tokarka [6].

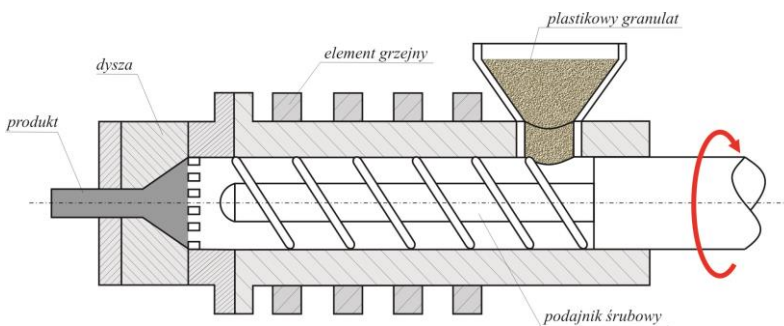
5.5. Przetwórstwo tworzyw sztucznych

Przetwórstwo tworzyw sztucznych najistotniejszą rolę odgrywa w takich działach jak produkcja opakowań produktów, wytwarzania przedmiotów użytkowych jak również w budowie maszyn. Tworzywa sztuczne – materiały oparte na polimerach syntetycznych lub zmodyfikowanych naturalnych, zastępujące tradycyjne tworzywa, takie jak drewno, ceramika, kauczuk naturalny, metal itp. Ponadto, wiele tworzyw sztucznych posiada własności niemożliwe do uzyskania z zastosowaniem surowców naturalnych.

Bardzo istotnym procesem w trakcie formowania tworzyw wielkocząsteczkowych jest uplastycznienie. Jest to przejście tworzywa ze stanu wyjściowego w stan plastyczny lub ciekły – umożliwiający formowanie. Proces ten zachodzi wskutek nagrzania i ruchu tworzywa, w niektórych przypadkach wspomaga się dodatkowym środkiem – plastyfikatorem.

Do podstawowych technik stosowanych w przetwórstwie zalicza się:

1. **Wytłaczanie** – metoda polegająca na ciągłym uplastycznianiu tworzywa w układzie uplastyczniającym i przepychaniu go przez końcówkę głowicy.

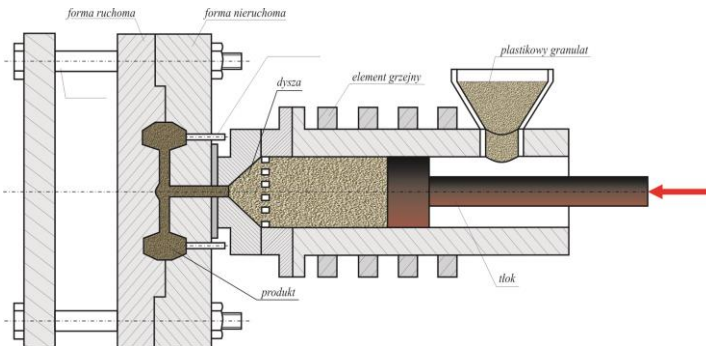


Rys. 5.16. Schemat wytłaczania tworzywa sztucznego na wytłaczarce śrubowej



Rys. 5.17. Przykłady wytłaczanych przekrojów

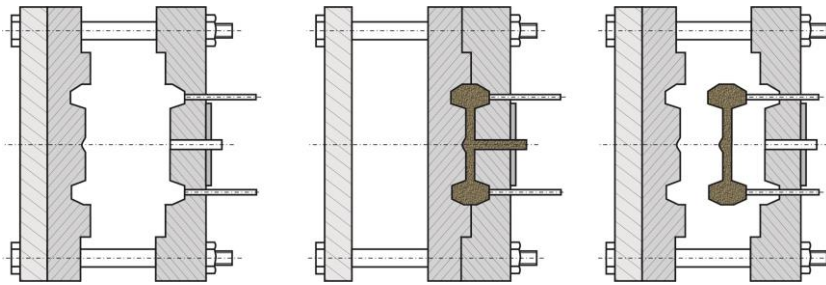
2. **Wtryskiwanie** – proces polega na systematycznym uplastycznianiu i stapieniu materiału w układzie uplastyczniającym oraz wciśnięciu go do zamkniętego gniazda formującego wtryskarki, a następnie jego zastygnięcia w kształtkę i wyjściu z formy.



Rys. 5.18. Schemat wtrysku z tworzywa sztucznego

Etapy procesu wtrysku:

- A – *ogrzewanie i uplastycznianie* – tworzywo dozowane ze zbiornika przesuwane jest przez obracający się ślimak. Cylinder wtryskarki ogrzewany jest za pomocą elementów grzewczych. Tworzywo ogrzewa się od ścianek cylindra a także w wyniku tarcia. Ruch obrotowy ślimaka powoduje przesuwanie się tworzywa w cylindrze wtryskarki.
- B – *wtrysk do formy* – ślimak spełnia tu rolę tłoka, czoło ślimaka przetłacza uplastycznione tworzywo do formy.
- C – *zestalenie tworzywa w formie* – wtrysk stosujemy do formowania tworzyw termoplastycznych lub termoutwardzalnych. W przypadku tworzyw termoplastycznych stosuje się formy chłodzone natomiast w przypadku tworzyw termoutwardzalnych stosujemy formy ogrzewane. W wyniku chłodzenia tworzyw termoplastycznych lub ogrzewania tworzyw termoutwardzalnych zestalają się one w formie dokładnie odwzorowując jej kształt.
- D – *otwarcie formy* – usuwanie uformowanego tworzywa z formy następuje dzięki układowi wypychania.
- E – *zamknięcie formy* [6].



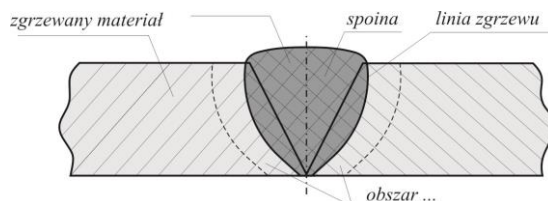
Rys. 5.19. Fazy procesu formowania wtryskowego

3. **Prasowanie** – jest to metoda polegająca na wprowadzeniu tworzywa do zamkniętego gniazda formującego i łączeniu jego ziaren lub częściowym jego uplastycznieniu a następnie stapianiu oraz utwardzeniu i wyjęciu. Do metod prasowania zalicza się:
 - tłoczenie;
 - przetłaczanie;
 - formowanie płyt – laminowanie.
4. **Odlewanie** – proces polegający na wprowadzeniu tworzywa w stan ciekły lub plastyczny i przeprowadzeniu go przez układ wlewowy do formy. Po obniżeniu temperatury lub zajściu reakcji chemicznych następuje zestalenie.
5. **Walcowanie i kalandrowanie** – polega na ciągłym przepuszczaniu materiału w stanie plastycznym pomiędzy obracającymi się walcami.

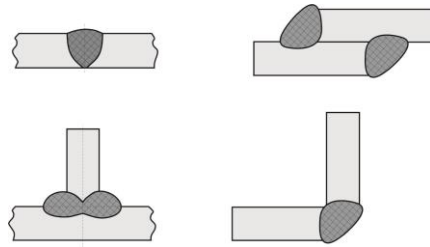
5.6. Technika łączenia materiałów

Do techniki łączenia materiałów zalicza się spajanie. Jest proces trwałego łączenia materiału przez uzyskiwanie jego ciągłości. Rozróżnia się cztery podstawowe metody spajania: spawanie, zgrzewanie, lutowanie i klejenie.

Spawanie polega na łączeniu odpowiednio przygotowanych elementów stopionym metalem elektrody z jednoczesnym nadtopieniem brzegów łączonych elementów. W wyniku tego powstaje złącze zwane spoiwem. Jest to rodzaj połączenia, który znajduje zastosowanie przy wyrobie konstrukcji metalowych nierozłącznych.



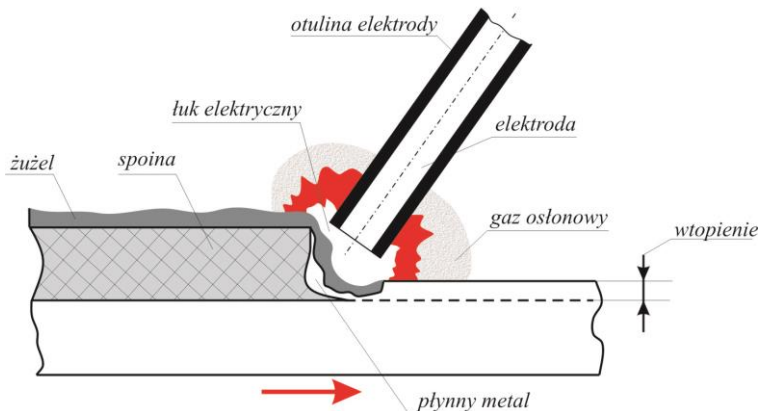
Rys. 5.20. Struktura połączenia spawanego



Rys. 5.21. Przykłady połączeń spawanych

W zależności od źródła ciepła użytego w procesie wyróżniamy następujące rodzaje spawania:

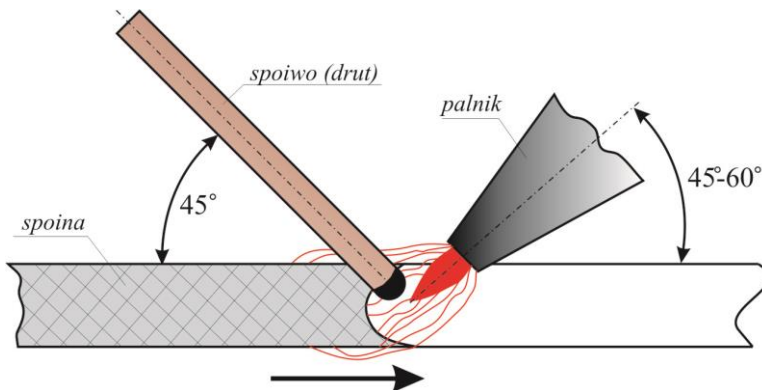
A – **spawanie elektryczne** – źródłem ciepła jest łuk elektryczny jarzący się między elektrodą a metalem spawanym. W pierwszej fazie należy doprowadzić do zwarcia elektrody z metalem doprowadza to do powstania przepływu prądu zwarcia, który nagrzewa elektrodę i materiał spawany, co umożliwia zjonizowanie powietrza wokół elektrody. Warstwa zjonizowanego powietrza staje się przewodnikiem, umożliwiając powstanie łuku elektrycznego. W wysokiej temperaturze cząsteczki gazów wydzielonych z otuliny rozpadają się na mniejsze elektrycznie naładowane cząsteczki – elektrony. Elektrony wypływające z katody przyciągane są do anody, gdzie, uderzając w materiał spawany, wyzwalają energię w postaci ciepła. Energia powstała w warstwie przyelektrodowej zużywana jest do nagrzania materiału spawanego i elektrody. Pozwala to na wypełnienie ciekłym metalem przestrzeni między elementami.



Rys. 5.22. Schemat spawania elektrycznego elektrodą otuloną

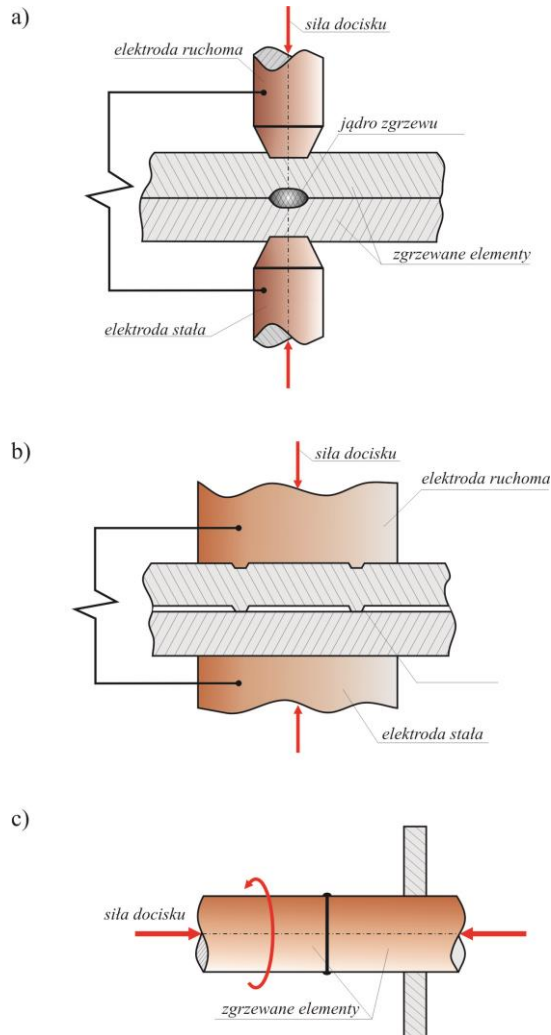
Istnieją również odmiany spawania elektrycznego w osłonie gazowej. Należą do nich:

- *Metoda MIG 131* (Metal Inert Gas) – jest to spawanie łukowe elektrodą topliwą w osłonie gazu obojętnego (argon, hel, argon + hel).
- *Metoda MAG 135* (Metal Active Gas) – jest to spawanie łukowe w osłonie gazu aktywnego chemicznie (CO₂, CO₂ + gaz obojętny).
- *Spawanie łukowe drutem rdzeniowym.*
- *Metoda TIG 141* (Tungsten Inert Gas) – jest to spawanie łukowe elektrodą nietopliwą w osłonie gazów obojętnych (Ar, He, Ar + He). Umożliwia ona spawanie prawie wszystkich metali i ich stopów oraz łączenie ze sobą różnych metali i stopów. Uzyskiwany metal spoiny jest stopem roztopionej części materiału rodzimego i spoiwa (drut, pręt, pałeczka) podawanego w strefę jarzenia się łuku.



Rys. 5.23. Schemat spawania gazowego

B – **spawanie gazowe** – źródłem ciepła jest płomień z palnika gazów palnych i tlenu. Do gazów palnych wykorzystywanych przy spawaniu zalicza się propan-butan, acetylen lub wodór. Przemieszczając palnik pomiędzy spawanymi krawędziami spawanych elementów, dochodzi do ich nadtopienia. Do powstałego jeziora ciekłego metalu dodaje się spoiwo w postaci innego materiału. Po ostudzeniu materiał tworzy wyraźną spoinę. W zależności od rodzaju płomienia można spawać różne rodzaje metali i stopów.



Rys. 5.24. Przykłady zgrzewania oporowego: a) zgrzewanie punktowe, b) zgrzewanie liniowe, c) zgrzewanie tarciove

Zgrzewanie – polega ono na rozgrzaniu stykających się powierzchni tak, aby przeszły one w stan plastyczny (ciastowaty) i dociśnięciu ich. Uplastycznieniu ulega tylko niewielka objętość na granicy styku, dzięki temu nie następuje obniżenie mechanicznych właściwości złącza ani elementów zgrzewanych.

Metody zgrzewania dzielimy na dwie grupy

1. *Zgrzewanie elektryczne oporowe* (garbowe, punktowe, liniowe, gazowe) – uzyskuje się w wyniku nagrzania miejsca styku łączonych elementów przepływającym prądem elektrycznym, uplastycznieniu obszaru i dociśnięciu odpowiednią siłą.

2. *Zgrzewanie w stanie stałym* (ultradźwiękowe, wybuchowe, tarciove, zgniotowe, indukcyjne) uzyskuje się na skutek różnych zjawisk:

- odkształcenia plastycznego, tarcia, pełzania i dyfuzji w temperaturze otoczenia,
- wzrostu temperatury w wyniku tarcia lub znacznego odkształcenia plastycznego,
- podgrzania łączonych elementów do temperatury o wartości 0,6-0,8 temperatury topnienia i odkształcenia plastycznego.

Lutowanie – metoda łączenia elementów metalowych za pomocą spoiny z metalu o temperaturze topnienia niższej niż metali łączonych elementów, gdzie spoina jest nakładana w postaci stopionej, podczas gdy łączone elementy pozostają cały czas w stanie stałym. Podczas lutowania powierzchnia łączonych metali nie zostaje w żaden sposób stopiona, trwałe połączenie następuje dzięki wystąpieniu zjawiska kohezji i płytkiej dyfuzji. Spoiwo lutownicze wnika w mikropory materiału lutowanego.

Zależnie od temperatury topnienia lutu rozróżnia się:

- lutowanie miękkie (poniżej 450°C),
- lutowanie twarde (powyżej 450°C).

Klejenie – łączenie materiałów substancją o właściwościach wiążących zwaną klejem. Cienką warstwę kleju rozprowadza się po wcześniej przygotowanych powierzchniach. Proces klejenia w głównej mierze oparty jest na wykorzystaniu zjawiska adhezji. Klejenie można stosować w każdej gałęzi przemysłu.

Zaletami połączenia klejonego są:

- dokładne wykorzystywanie wytrzymałości łączonych materiałów,
- cała powierzchnia złącza ma równo rozłożone naprężenia;
- połączenia są odporne na korozję;
- posiadają zdolności do tłumienia drgań.

Wadami połączenia klejonego są:

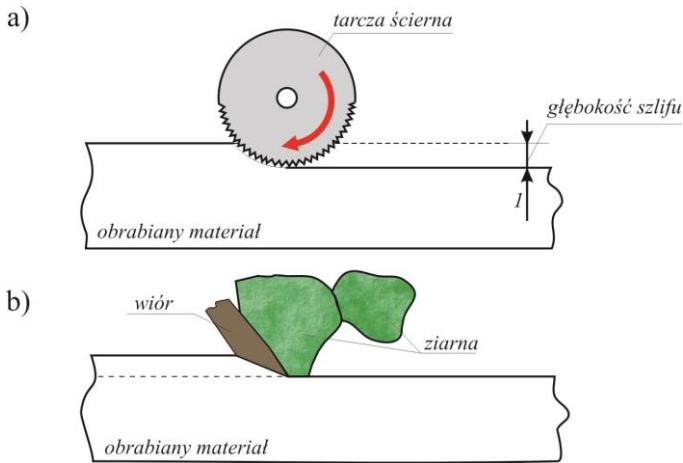
- wpływ obciążenia może rozwarstwić połączenie,
- kleje są słabo odporne na zmianę temperatury,
- starzenie się kleju obniża jego wytrzymałość czas.

5.7. Obróbki wykańczające

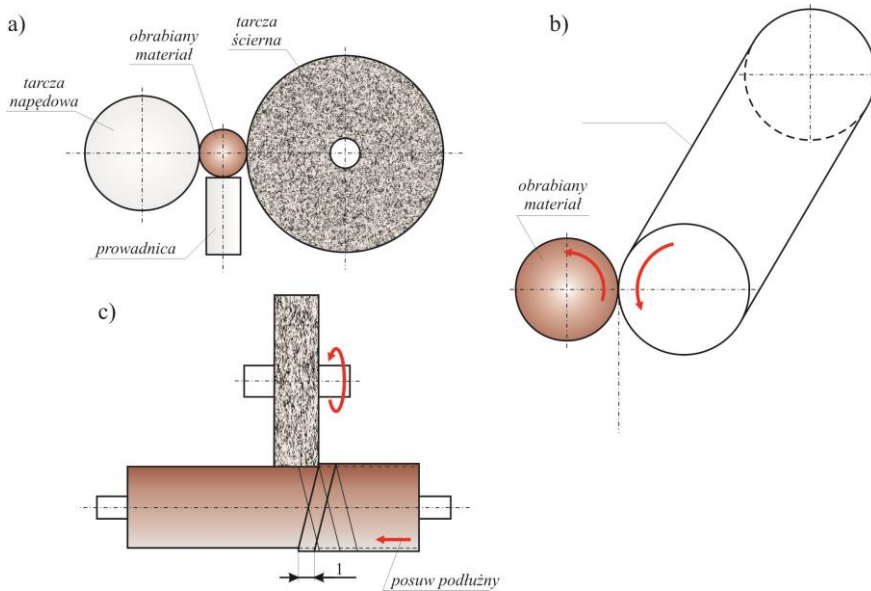
Wobec dużych wymagań, jakie stawia się we współczesnej technice częściom maszyn, co do ich dokładności wykonania i gładkości obrobionych powierzchni, konieczne jest stosowanie specjalnych sposobów i warunków obróbki, które nazywamy obróbką wykańczającą. Obróbka wykańczająca jest ostatnią fazą całkowitego procesu obróbki i ma na celu osiągnięcie odpowiednio dobrej jakości obrobionego warunkami technicznymi przedmiotu, zgodnej z wymaganiami

dotyczącymi dokładności wymiarów, dokładności kształtu i gładkości powierzchni. Do obróbek wykańczających zalicza się głównie: szlifowanie, gładzenie, dogładzanie oscylacyjne i docieranie [7].

Szlifowanie – jest to obróbka wykończeniowa powierzchni za pomocą narzędzi ściernych, w wyniku której uzyskujemy duże dokładności wymiarowe i kształtowe oraz małą chropowatość.



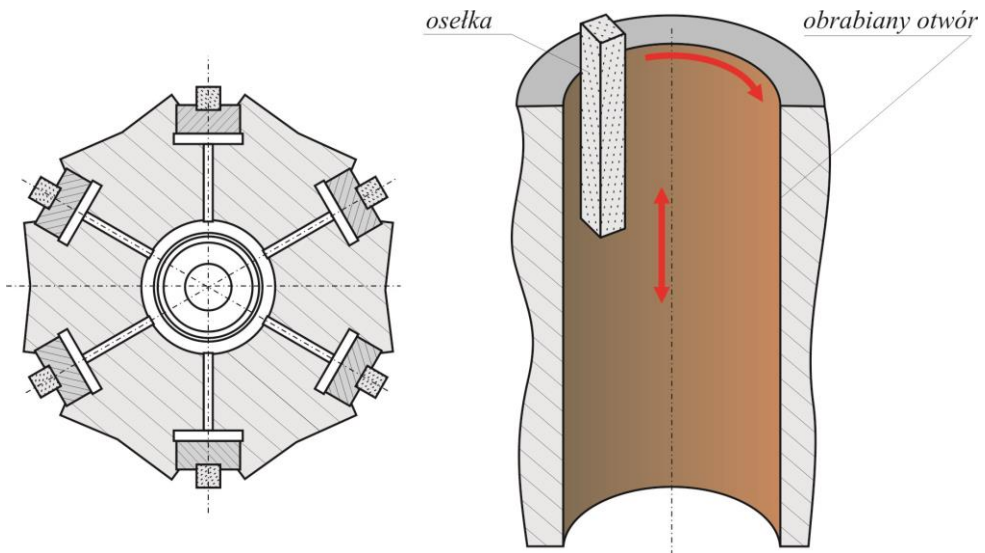
Rys. 5.25. Schemat szlifowania tarczą szlifierską



Rys. 5.26. Przykłady szlifowania: a) szlifowanie wału – szlifowanie wzdłużne wału – bezkłowe, b) szlifowanie pasem ściernym, c) szlifowanie wału – bezkłowe

Szlifowanie możemy wykonywać na otworach, wałkach i płaszczyznach. Przy szlifowaniu stosuje się narzędzia zwane ściernicami lub taśmami ściernymi. Elementami skrawającymi są ziarna ścierne, których kształt geometria i położenie na narzędziu jest ściśle określone. Najczęściej używane ziarna ścierne to elektrokorund, węgiel krzemu i diament. Wielkość ziaren dobiera się także w zależności od rodzaju obróbki – zgrubnej lub wykańczającej. Na rysunku przedstawiono główne rodzaje szlifowania.

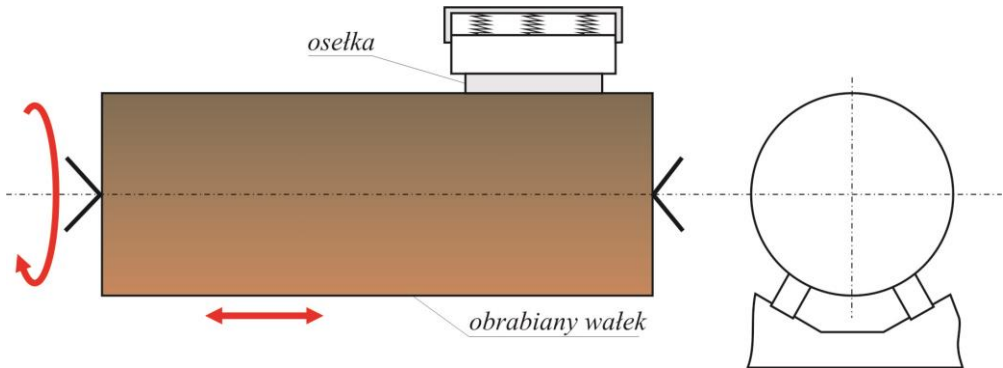
Gładzenie (honowanie) – jest obróbką wykańczającą bardzo dokładnych otworów walcowych, zwłaszcza cylindrów. Narzędzie jest wyposażone w kilka lub kilkanaście osełek i wykonuje ruch obrotowy i posuwisto-zwrotny. Gładzenie umożliwia uzyskanie dużej dokładności chropowatości $R_a = 0,32-0,04 \mu\text{m}$. Narzędziem stosowanym do gładzenia otworów jest głowica wyposażona na obwodzie w 3-12 osełek ściernych. Podczas gładzenia głowica połączona przegubowo z wrzecionem obrabiarki wykonuje ruch obrotowy oraz posuwisto-zwrotny. Skojarzenie tych ruchów powoduje, że każde ziarno pilnika zakreśla linie śrubową.



Rys. 5.27. Schemat gładzenia otworów, struktura głowicy

Dogładzanie oscylacyjne (superfinisz) jest stosowane do obróbki wykańczającej powierzchni wewnętrznych i zewnętrznych, od których jest wymagana bardzo mała chropowatość ($R_a = 0,08, 0,01 \text{ mm}$) i duża nośność.

Narzędziami do dogładzania oscylacyjnego są głowice wyposażone w drobnoziarniste oselki ścierne. Dogładzanie oscylacyjne jest bardzo wydajne, czas dogładzania powierzchni wynosi od kilkunastu do kilkudziesięciu sekund.



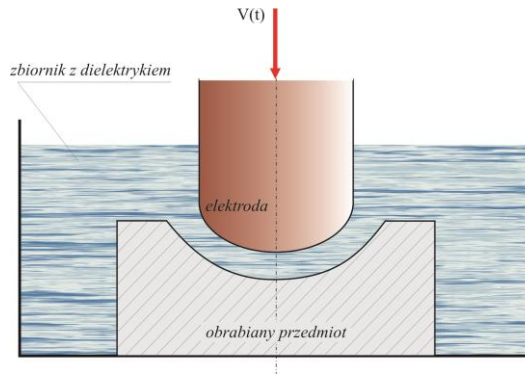
Rys. 5.28. Schemat gładzenia powierzchni walcowych zewnętrznych (superfinisz)

Docieranie – polega na wygładzeniu za pomocą luźnego materiału powierzchni uprzednio obrobionej szlifowaniem. Materiał ścierny, w postaci zawiesiny proszku ściernego w oleju lub nafcie, wprowadza się między powierzchnię narzędzia a powierzchnię przedmiotu. Proces docierania polega na usuwaniu mikronierówności powierzchni przez ziarna proszku ściernego wbite pod niewielkim naciskiem w powierzchnię roboczą docieraka.

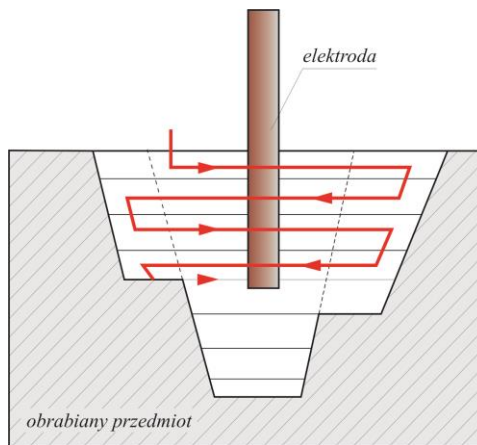
5.8. Obróbki specjalne

W związku ze wzrostem wymagań dotyczących kształtu oraz dokładności i wykorzystaniu materiałów o korzystnych właściwościach konstrukcyjnych, lecz o złej skrawalności (np. stopy tytanu, ceramika) opracowano szereg metod obróbki materiałów trudno skrawalnych. Należą do nich metody opierające się na skoncentrowanym strumieniu energii – popularnie zwane obróbką erozyjną. Metoda ta opiera się na usuwaniu warstwy materiału na skutek erozji cząstek [7].

Obróbka elektroerozyjna – jest to obróbka w której wykorzystuje się zjawisko powstawania uszkodzenia materiału pod wpływem wyładowań elektrycznych; wyładowania te występują w płynach roboczych (dielektryk ciekły lub gazowy) między dwiema elektrodami: jedną elektrodę stanowi przedmiot obrabiany a drugą jest elektroda robocza.



Rys. 5.29. Schemat obróbki elektroerozyjnej



Rys. 5.30. Schemat obróbki elektro-frezowanie

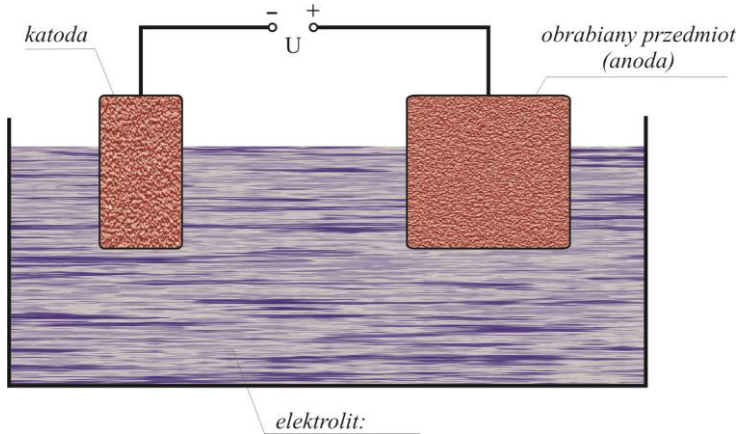
Do obróbek elektroerozyjnych należą:

Obróbka elektroiskrowa – polegająca na wykorzystaniu jako źródła erozji niestacjonarnych wyładowań elektrycznych.

Obróbka elektroimpulsowa – polegająca na wykorzystaniu źródła erozji stacjonarnych wyładowań elektrycznych.

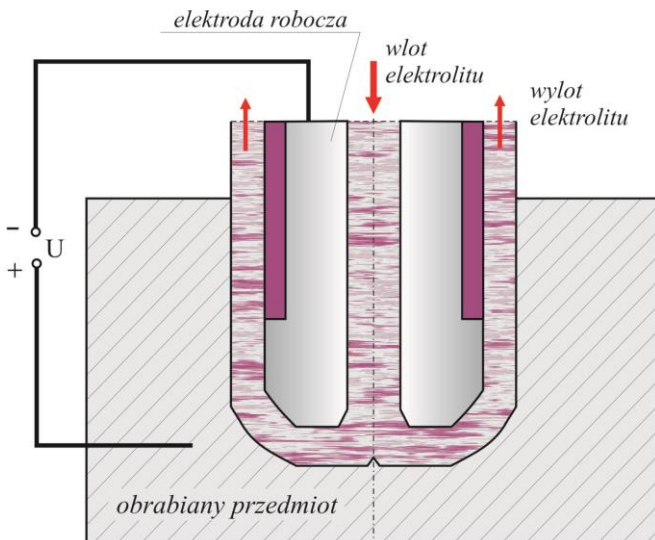
Drażarka elektroiskrowa – urządzenie do obróbki otworów i wgłębień metodą elektroiskrową.

Obróbka elektrochemiczna – jest to obróbka erozyjna polegająca na wykorzystaniu elektrochemicznego roztwarzania, tj. agresywnego działania roztworów kwaśnych lub zasadowych (elektrolitów) na będące z nimi w kontakcie metale, oraz prądu elektrycznego, który poprzez wywołanie odpowiedniego napięcia pomiędzy elektrodą roboczą (katodą) i przedmiotem obrabianym (anodą) przyczynia się do intensyfikacji procesu.



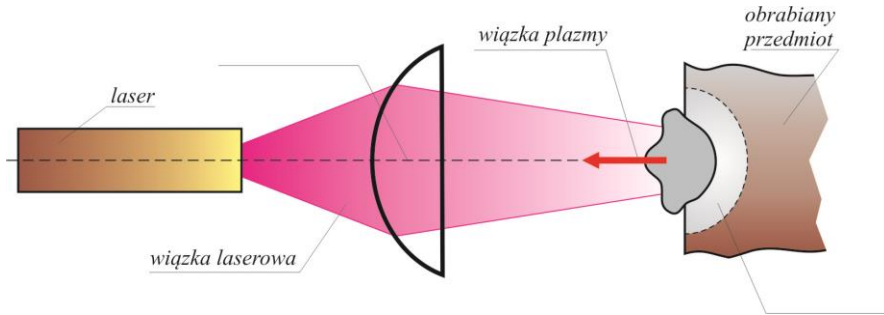
Rys. 5.31. Schemat obróbki elektrochemicznej (trawienie)

Obróbka elektrolityczna – polegająca na wykorzystaniu jedynie energii reakcji chemicznych zachodzących pod wpływem energii elektrycznej.



Rys. 5.32. Schemat obróbki elektrolitycznej

Obróbka strumieniowa – sposób obróbki erozyjnej polegający na wykorzystaniu strumienia cząstek (np. elektronów, jonów, fotonów) o wysokim stopniu koncentracji energii kinetycznej zamieniającej się w ciepłą po zetknięciu się z przedmiotem obrabianym, co wywołuje gwałtowny miejscowy wzrost temperatury (powyżej temperatury topnienia) materiału i w efekcie odparowywanie materiału w danym punkcie.



Rys. 5.33. Schemat obróbki materiału za pomocą lasera

Obróbka elektronowa – polegająca na wykorzystaniu strumienia elektronów do wywołania erozji. Proces ten jest przeprowadzany w wysokiej próżni.

Obróbka jonowa, obróbka plazmowa – polegająca na wykorzystaniu strumienia jonów do wywołania erozji obrabianego materiału.

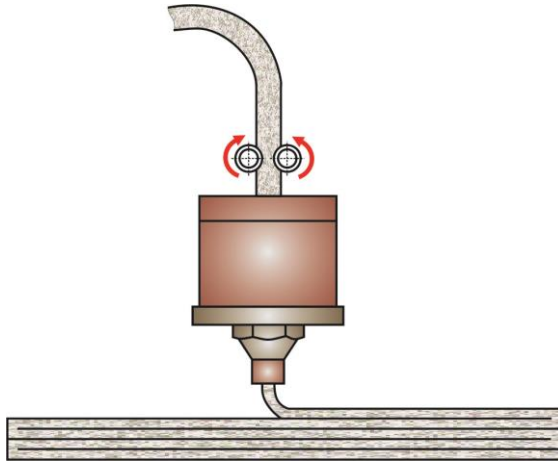
Obróbka fotonowa, obróbka laserowa – polegająca na wykorzystaniu wiązki światła (strumienia fotonów) monochromatycznego wysyłanego przez laser.

Obróbka strugą cieczy – polegająca na usuwaniu określonej objętości materiału strugą cieczy o bardzo wysokim ciśnieniu [7].

5.9. Techniki przyrostowe

Metody przyrostowe są oparte na znanych od wielu lat technologiach szybkiego prototypowania (Rapid Prototyping), w których przedmioty wytwarza się na zasadzie dodawania materiału przyrostowo, a nie tak jak w większości konwencjonalnych technologii na usuwaniu materiału np. obróbka skrawaniem. Technologie przyrostowe najczęściej są wykorzystywane do wytwarzania części przedmiotów zindywidualizowanych pod konkretnego odbiorcę.

Technologia przyrostowa umożliwia tworzenie przedmiotów i narzędzi od razu w docelowym kształcie, daje możliwość kontroli nad powstawaniem bryły w każdym fragmencie jej objętości. Zakres kontroli obejmuje ogromny zbiór własności: zaczynając od cech geometrycznych, ale również takich, jak: kolor, twardość, elastyczność, przewodnictwo cieplne czy elektryczne. Jest to możliwe przy doborze odpowiedniego materiału, w dodatku udaje się kontrolować własności nie tylko całego obiektu, ale poszczególnych jego fragmentów. Technologia pozwala na budowanie precyzyjnie pod kątem naszych wymagań, tworząc w jednym cyklu produkcyjnym element o właściwościach precyzyjnie dobranych w każdym fragmencie obiektu.



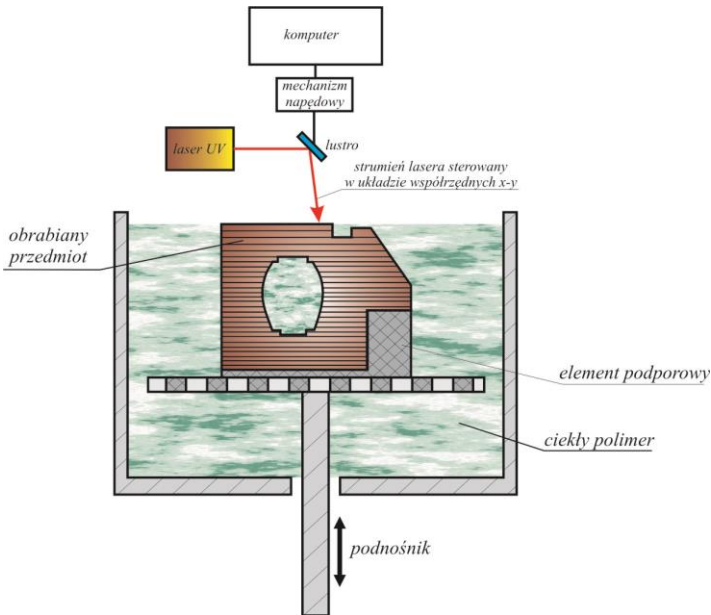
Rys. 5.34. Przykład technik przyrostowych – metoda osadzania stopionego materiału (FDM)

Techniki przyrostowe w zależności od planowanego zastosowania elementów dzielą się na trzy rodzaje:

- wytwarzanie modeli (Rapid Modelling – RM),
- prototypów (Rapid Prototyping – RP),
- narzędzi (Rapid Tooling – RT).

Dla każdej z grup charakterystyczne są pewne technologie produkcji. W zależności od zastosowanej techniki i urządzenia otrzymany przedmiot można wykorzystać wyłącznie do fizycznej prezentacji kształtu (RM), do wstępnych badań (RP) lub wręcz jako produkt finalny (RT). Możliwe jest również użycie technik z rodziny RT jako etapu pośredniego, na którym powstaje jedynie forma, służąca następnie do wyprodukowania właściwego elementu tradycyjnymi technikami. Obecnie na rynku jest dostępne i rozpowszechnione wiele technik przyrostowych, należą między innymi do nich:

- stereolitografia (Sterolithography SL, SLA),
- selektywne spiekanie laserowe (Selective Laser Sintering – SLS),
- druk przestrzenny (3D Printing – 3DP),
- Ink Jet Printing (IJP),
- Fused Deposition Modeling (FDM),
- Laminated Object Manufacturing (LOM),
- Laser Engineered Net Shaping (LENS).



Rys. 5.35. Schemat działania metody przyrostowej na przykładzie stereolitografii

Ze względu na złożoność procesów każdej z metod na przykładzie stereolitografii zostanie omówiona technika przyrostowa. Stereolitografia to jedna z najstarszych, najpopularniejszych i najdokładniejszych metod przyrostowych. Punktem wyjścia do budowy modelu jest projekt wyrobu stworzony w dowolnym programie CAD w postaci 3D zapisany w formacie STL. Następnie w programie dedykowanym dla aparatury stereolitograficznej następuje przygotowanie procesu – określenie parametrów platformy roboczej, weryfikacja poprawności pliku wsadowego, edycja podpór, oraz wygenerowanie pliku wyjściowego dla SLA. Zasada działania SLA polega na warstwowym utrwalaniu żywicy epoksydowej za pomocą światła ultrafioletowego, generowanego przez laser małej mocy. Utwardzony fragment obniża się o ułamek milimetra (zwykle spód komory roboczej jest ruchomy) i pokrywa nową warstwą płynu roboczego, po czym cykl powtarza się tak długo, aż wykreślone zostaną wszystkie przekroje. Ponieważ element powstaje w środowisku płynnym, często trzeba wykonać podpory gwarantujące jego stabilność podczas naświetlania kolejnych warstw. Po wykonaniu wszystkich warstw składających się na bryłę model wyjmuje się z komory roboczej i poddaje się obróbce wykończeniowej, która polega na usunięciu struktur podpierających i niejednokrotnie na obróbce niektórych powierzchni.

Literatura

- [1] **Aschby M. F.**, *Dobór materiałów w projektowaniu inżynierskim*. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 1998.
- [2] **Karpiński T.**, *Inżynieria produkcji*. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 2004.
- [3] **Szala J.**, *Podstawowe problemy współczesnej techniki i technologii*. Wydawnictwo Uczelniane Akademii Techniczno-Rolniczej, Bydgoszcz 1998.
- [4] **Kubiński W.**, *Wprowadzenie do techniki – rola i miejsce techniki w gospodarce oraz w życiu społecznym*. Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne, Kraków 2006.

6. PRZYGOTOWANIE PROCESU TECHNOLOGICZNEGO

Realizacja działań polegających na przygotowaniu procesu produkcyjnego rozpoczyna się po zakończeniu procesu projektowania. Uproszczony model tego procesu zostanie zaprezentowany w sposób bardzo ogólny i jest podporządkowany zaprojektowanej konstrukcji, opisanej w rozdziale 3.

6.1. Pojęcia i definicje związane z organizacją procesu technologicznego

Pojęcie technologii pochodzi z języka greckiego jako źródłosłów złożony z wyrazów (*technē* – sztuka, rzemiosło i *logos* – słowo, nauka) [1, 2]. Technologia jest nauką o procesach, metodach i sposobach wytwarzania. W celu wytworzenia dobrej maszyny o określonych właściwościach użytkowych niezbędna jest integracja różnych dziedzin wiedzy (konstruowanie i znajomość systemów wspomagania komputerowego, materiałoznawstwo, techniki wytwarzania, ekonomia). Wyszczególnione dziedziny wzajemnie na siebie oddziałują i uzupełniają się. Z wytwarzaniem lub przetwarzaniem związane są następujące pojęcia [3]:

- proces produkcyjny, który obejmuje wszystkie czynności niezbędne do wytworzenia (przetwarzania) surowców, materiałów lub półwyrobów w wyroby gotowe;
- proces technologiczny, czyli główna część procesu produkcyjnego, podczas którego następuje wykonanie elementów lub montaż elementów w zespoły i wytwory;
- procesy pomocnicze, do których zalicza się kontrolę jakości, magazynowanie, transport, itp.

W procesie technologicznym wykonywane są czynności, które decydują o zmianie kształtu, postaci, wymiarów lub własności elementów, w celu wejścia w skład gotowego wyrobu. Proces technologiczny dzieli się na:

- operacje technologiczne, które wykonuje się na jednym stanowisku roboczym, najczęściej przez jednego pracownika i przerw na inną pracę,
- zabiegi, które są związane z operacją i zależą od charakteru operacji.

Dane wyjściowe potrzebne do zaprojektowania procesu technologicznego zbiera się podobnie jak w procesie konstruowania, a różnica wynika jedynie z faktu, że podstawą opracowania jest dokumentacja konstrukcyjna. Opracowanie procesu technologicznego jest ważnym zadaniem, głównie ze względów ekonomicznych, ponieważ na tym etapie decyduje się o środkach technicznych, które będą użyte w realizacji procesu wytwarzania.

Jakie niezbędne informacje powinien posiadać technolog, przystępując do opracowania procesu technologicznego? W tym przypadku wyróżnia się następujące zbiory dokumentów:

- kompletną, sprawdzoną i zatwierdzoną dokumentację konstrukcyjną wyrobu,
- informacje o wielkości produkcji i jej seriach (np. rocznych, kwartalnych),
- informacje o posiadanym parku maszynowym, jego bieżącym obciążeniu i wiedzę na temat dokładności poszczególnych maszyn,
- informacje o możliwościach kooperacyjnych i zakupie elementów handlowych dla wytwarzanego wyrobu.

W oparciu o te dane podejmuje się decyzje o wyborze najbardziej prawdopodobnych wariantów procesu technologicznego, które powinny spełniać:

- warunki użytkowe,
- warunki techniczne (BHP).

Przy wyborze optymalnego wariantu procesu technologicznego należy kierować się również nowoczesnością procesu, jak i ogólnymi kierunkami rozwoju wiedzy w tym zakresie. Ważne jest też sprawdzenie opracowanego procesu pod kątem:

- efektywności ekonomicznej,
- ogólnych wymagań w zakresie wydajności procesu, zużycia i oszczędności materiałów,
- jakości,
- doboru wskaźników techniczno-ekonomicznych i obliczeń wybranych wielkości.

6.2. Dokumentacja technologiczna

Dokumentacja technologiczna to zbiór dokumentów określający sposób wykonywania wyrobu i potrzebne do tego celu środki. Na dokumentację technologiczną składają się:

- schematy technologiczne,
- karty technologiczne,
- kart instrukcyjne,
- karty normowania materiałów i czasu dla poszczególnych operacji,
- rysunki oprzyrządowania i urządzeń specjalnych dla poszczególnych operacji.

Karta technologiczna to dokument, w którym znajduje się opisany proces technologiczny obróbki, w kolejności wykonywania oraz z oznaczeniem stanowisk pracy. Ponadto w karcie jest miejsce na nazwę, oznaczenie części, rodzaj materiału oraz inne informacje związane z opisywanym procesem, jak to pokazano na rys. 6.1.

Nr rysunku		Karta technologiczna		Arkusz	Nr karty	
Nr części		Nazwa części		Arkusz	Nr zlecenia	
Material - gat		Material wyjściowy		Ciężar kg	Uwagi	
Nr	Treść operacji	Stanowisko	Pomoce	Kat. pracy	tpz/tj	T serie
Opracował dn.		Sprawdził dn.		Zatwierdził dn.		

Rys. 6.1. Wzór karty technologicznej

Opis	D,B	L	i	v	n	p	g	Symbol, rysunek, część PUTs - 200/1
<i>Toczyć wg szkicu</i>								Zabieg
a) czoło	170		2		230	0,15	0,5	Operacja 20
b) pow. zewn.	164	4,7	1	120	230	0,1		Stanowisko robocze M 113
c) otwór	99,5	32,4	3	94	300	0,1		Opryządowanie
d) otwór	101	4,7	1	95	300	0,1		Ilość
e) otwór	102	8	1	95	300			
								PUTs - 250
								NNZc - 16 x 25 S2 NNBe - 16 x 25 S2 NNWb - 20 x 20 S2 NNWc - 25 x 25 S2 W-MS-54/32,4 W-MT-86
Opracował dn.	Sprawdził dn.		Zatwierdził dn.		Arkusz 2			

Rys. 6.2. Wzór karty instrukcyjnej wraz z rysunkiem [4]

Karta instrukcyjna zawiera szczegółowy opis sposobu wykonania przypisanej operacji oraz potrzebnych do tego celu środków. W karcie znajduje się miejsce na rysunek instrukcyjny (na którym zaznacza się obrabiane powierzchnie i określa sposób zamocowania), wykaz zastosowanych narzędzi, przyrządów i uchwytów oraz wykaz charakterystycznych parametrów obróbki, jak to pokazano na rys. 6.2.

Karta normowania czasu i karta normowania materiału to dokumenty zawierające wyniki obliczeń normy czasowej dla danej operacji oraz określenie zużycia materiałów.

W projektowaniu procesu technologicznego bardzo przydatna jest umiejętność ustalania przedmiotów oraz ich sposoby mocowania podczas obróbki. Wiedza w tym względzie decyduje o uzyskiwanej dokładności wymiarowo-kształtowej, a w przypadku montażu o dokładności położenia współpracujących powierzchni montowanych elementów oraz wpływa na czas obróbki i montażu.

6.3. Bazy obróbkowe

Powierzchnie obrabianych przedmiotów można podzielić na:

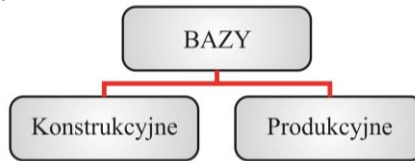
- powierzchnie służące do ustalenia przedmiotu w przestrzeni roboczej (np. na obrabiarce), które nazywa się bazami obróbkowymi,
- powierzchnie obrabiane w danej operacji,
- powierzchnie swobodne, niemające związku z wykonywaną operacją.

Baza to taka powierzchnia, linia lub punkt przedmiotu, względem którego określone zostaje położenie [3]. Z bazą związane jest pojęcie ustalenia przedmiotu w czasie obróbki. Ustalenie to nadanie obrabianemu przedmiotowi określonego położenia, poprzez odebranie mu tych stopni swobody, które mają wpływ na uzyskanie w danej operacji określonych wymiarów. Dokonuje się tego przez zetknięcie powierzchni ustalających obrabianego przedmiotu z elementami ustalającymi uchwytu obróbkowego lub obrabiarki. Przedmiot w przestrzeni ma 6 stopni swobody (3 obroty i 3 przemieszczania). Aby ustalić przedmiot w zależności od położenia obrabianej powierzchni, niezbędne jest odebranie mu kilku (3, 4, 5 lub nawet 6) stopni swobody. Do ustalenia przedmiotu służą powierzchnie, linie lub punkty, które nazywa się bazami. Podział i klasyfikację baz zawiera norma PN-83/M-01250.

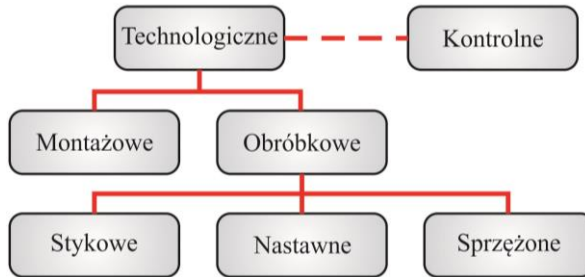
Klasyfikacja baz:

- podział ogólny, w tym przypadku wyróżnia się bazy konstrukcyjne i produkcyjne,
- ze względu na przeznaczenie wyróżnia się bazy technologiczne i kontrolne, a ich szczegółowy wykaz pokazano na rys. 6.3.

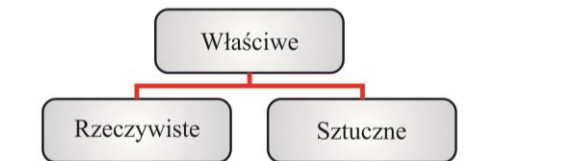
Podział ogólny



Ze względu na przeznaczenie



Ze względu na znaczenie



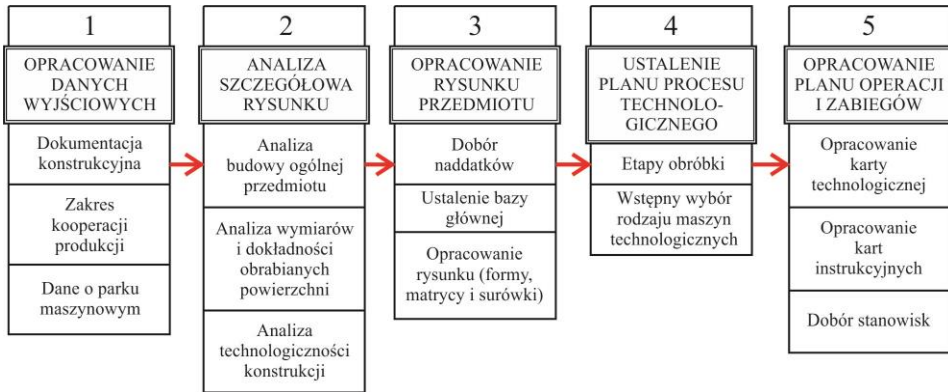
Rys. 6.3. Klasyfikacja baz [5]

W praktyce podział baz obróbkowych jest ściśle związany z procesem, w którym są wykorzystywane. Klasyfikacja w tym przypadku uwzględnia:

- Miejsca występowania w procesie produkcyjnym – w tym przypadku występuje *baza konstrukcyjna* (taka powierzchnia, linia lub punkt od której wymiaruje się położenie innych elementów przedmiotu), *baza technologiczna* (czyli powierzchnia, linia lub punkt, według której ustala się położenie przedmiotu podczas obróbki) i *baza kontrolna*, w stosunku do której kontroluje się położenie przedmiotu podczas obróbki lub montażu.
- Według przeznaczenia technologicznego – wyróżnia się *bazę obróbkową*, która służy do ustalenia półwyrobu w stosunku do narzędzia oraz *bazę montażową*, która służy do ustalenia przedmiotu w stosunku do innych części podczas montażu.
- Według liczby odbieranych stopni swobody – występuje tu *baza główna* (odbiera od 3-5 stopni swobody), *baza kierunkowa* (odbiera 2 lub 1 stopień swobody) oraz *baza oporowa* (odbiera 1 stopień swobody).

6.4. Etapy opracowania procesu technologicznego

Metodykę projektowania procesu technologicznego z podziałem na poszczególne kroki działania przedstawiono na rys. 6.4.



Rys. 6.4. Metodyka opracowania procesu technologicznego [5, 6]

Projektowanie rozpoczyna się od zebrania danych wyjściowych i ich analizy. Następnie przeprowadza się szczegółową analizę rysunku technicznego przedmiotu, która powinna obejmować:

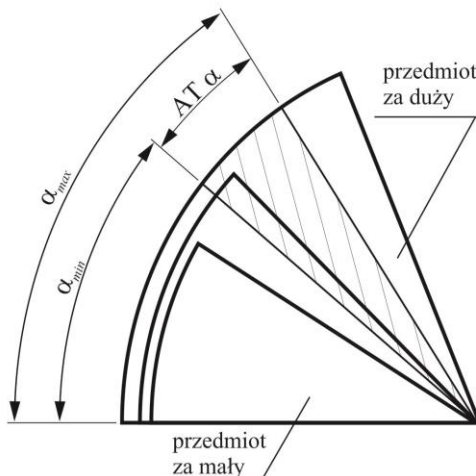
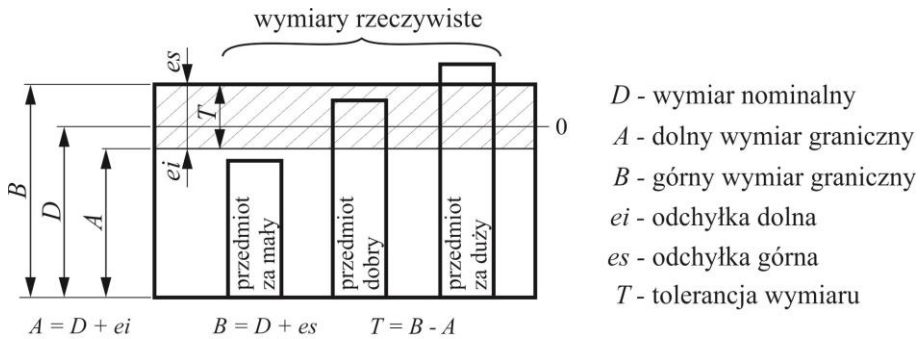
- budowę ogólną przedmiotu (makrogeometrię) – podczas tej analizy ustala się do jakiej klasy zaliczyć przedmiot, z jakich brył jest złożony, jak są one względem siebie położone oraz jak konstruktor powiązał je wymiarami;
- budowę szczegółową (mikrogeometrię) – w tym przypadku określa się powierzchnie obrabiane (dokładność i chropowatość), stopień powiązania powierzchni obrabianych z innymi (analiza wymiarowa), a także zwraca się uwagę na poprawność wymiarowania.

Z dotychczasowej analizy wynika, że dokumentacja technologiczna wpływa na jakość i nowoczesność wytwarzania. W warunkach gospodarki rynkowej przekłada się to na opłacalność przedsięwzięcia i ma ogromne znaczenie dla uzyskania efektów ekonomicznych z produkcji i sprzedaży. Następnie wybiera się metodę wykonania. Na tym etapie ustala się naddatki na obróbkę (na poszczególnych powierzchniach obrabianych) oraz bazy obróbkowe, w tym główną bazę obróbkową dla pierwszej operacji. Po ustaleniu metody wykonania przystępuje się dopiero do opracowania procesu technologicznego obróbki. W opracowywanym procesie należy przewidzieć, czy będzie występowała obróbka cieplna lub cieplno-chemiczna (w ilu i jakich etapach proces będzie realizowany), jaka będzie złożoność operacji technologicznej obróbki. Na tym etapie można też wstępnie dobrać

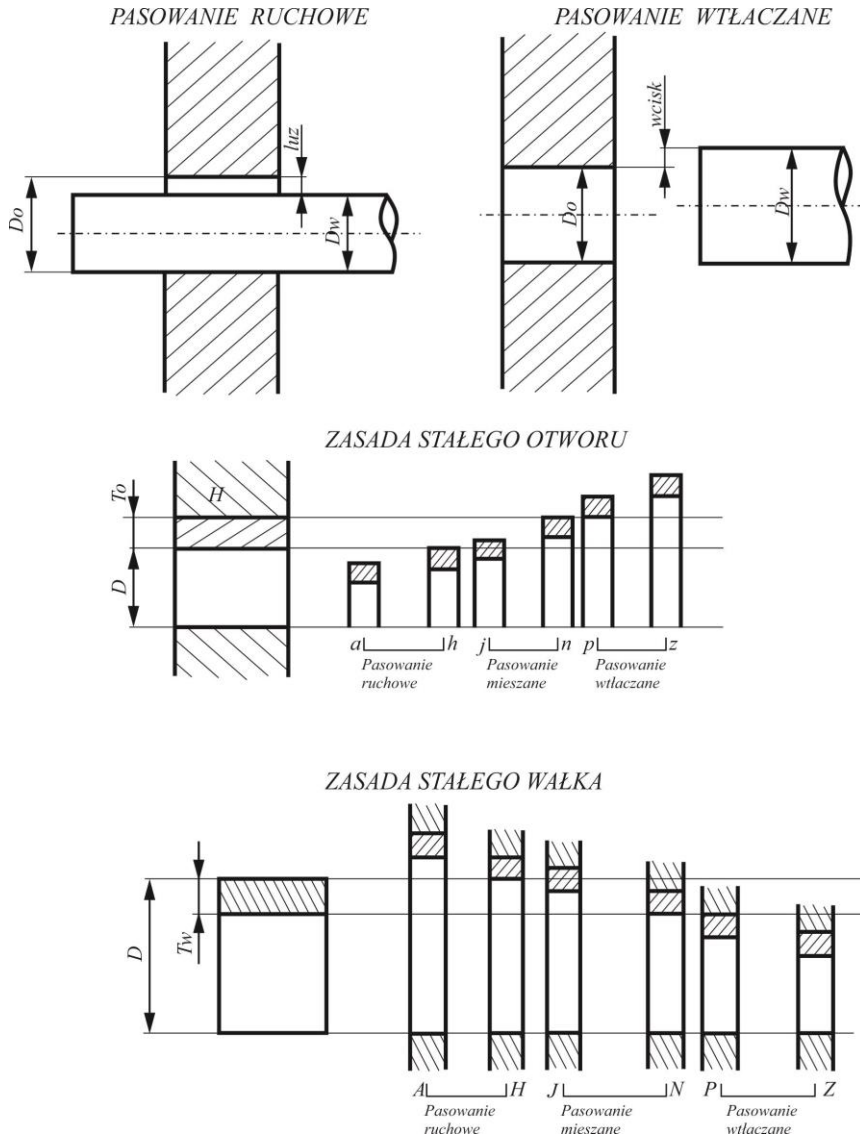
maszyny technologiczne. Po dokonaniu ww. czynności przystępuje się do opracowania planu obróbki, w którym ustala się liczbę i rodzaj operacji oraz liczbę i rodzaj zabiegów. W efekcie powstaje (omówiona w podrozdziale 6.2) pełna dokumentacja technologiczna, zawierająca także wymagane normatywy czasowe i materiałowe. Dokumentacja zostaje dopuszczona do ruchu, po sprawdzeniu i zatwierdzeniu opracowanych dokumentów technologicznych.

6.5. Tolerancje i pasowania

Na etapie opracowania procesu technologicznego bierze się pod uwagę również dokładność wykonania części i jakość obrabianych powierzchni maszyn. Wymiary i kształty części rzeczywistych różnią się od części idealnych odchyłkami: wymiarów (liniowych lub kątowych), kształtu i położenia jak to pokazano na rys. 6.5.



Rys. 6.5. Tolerowanie wymiarów [8]



Rys. 6.6. Zasady i rodzaje pasowania [8]

Dobra współpraca części maszyn jest zapewniona, gdy odchyłki rzeczywiste zawierają się w granicach tolerancji określonej przez konstruktora. Przy ustalaniu tolerancji i pasowań zwraca się uwagę na zależność między dokładnością a kosztami wytwarzania [7]. Wybór bardzo małych tolerancji (klasy 5-6) wymaga zastosowania specjalnych narzędzi i sprawdzianów oraz dodatkowej obróbki (np. szlifowania). Wydłuża się przez to czas obróbki i zwiększa koszty wytwarzania. Tolerowanie w klasach (7-9) zaleca się wtedy, kiedy trzeba zapewnić odpowiednie

do warunków pracy pasowanie dla współpracujących części. W pozostałych przypadkach wymiarów stosuje się klasy dokładności (12-18) i w zasadzie nie podaje się już wartości odchyłek. W budowie maszyn najczęściej wykorzystuje się pasowania według zasady stałego otworu, ponieważ ogranicza się w ten sposób liczbę kosztownych narzędzi i sprawdzianów. Zasadę stałego wałka stosuje się w odniesieniu do części, dla których jest to wymagane lub zalecane (np. dla wypustów, łożysk). Zasady i oznaczanie pasowania przedstawiono na rys. 6.5.

Ogólne zasady doboru odpowiedniego pasowania (po uwzględnieniu warunków pracy) są następujące:

- w połączeniach ruchowych stosuje się pasowania luźne (części ruchome przesuwają lub obracają się względem siebie z wymaganym luzem);
- w połączeniach stałych (elementy osadzone są na stałe w określonym położeniu) jest korzystnie, gdy stosuje się pasowania mieszane lub ciasne (części rozłączane sporadycznie powinny mieć pasowania z mniejszym wciskiem, niż te połączenia, dla których nie przewiduje się rozłączania);
- w produkcji wielkoseryjnej, oraz tam gdzie przewiduje się częstą wymianę części, stosuje się pasowania dokładne (uzyskuje się wtedy wysoki procent zamienności części).

Dobór odpowiedniego pasowania jest zagadnieniem dość skomplikowanym i wymaga przede wszystkim doświadczenia. Przy doborze pasowań bierze się pod uwagę różne czynniki, np. temperaturę, do jakiej mogą się nagrzewać części podczas pracy (pasowania podane w normie dotyczą normalnych warunków pracy). Dla elementów pracujących w wyższych temperaturach, stosuje się pasowania przystosowane do pracy w wyższych temperaturach. Na dobór pasowania mają wpływ również inne czynniki (np. rodzaj obróbki, chropowatość powierzchni, smarowanie, przewidywalne odkształcenia, drgania itp.).

6.6. Technologia montażu części maszyn

Montaż jest procesem logicznie powiązanych ze sobą czynności służących do połączenia części w gotowy wyrób. Odbywa się zgodnie z technologią montażu (bardzo ważną częścią składową procesu technologicznego wytwarzania), dokumentacją konstrukcyjną i warunkami technicznymi odbioru (WTO). Dane wyjściowe potrzebne do zaprojektowania procesu technologicznego montażu zbiera się podobnie jak w opisanych już procesach konstruowania i wytwarzania.

Czynności procesu technologicznego montażu dzieli się na [9]:

- czynności główne, do których zalicza się czynności montażu, regulacyjne, wyważania, dopasowania itp.;
- czynności pomocnicze, polegające na przygotowaniu elementów maszynowych do złożenia w całość.

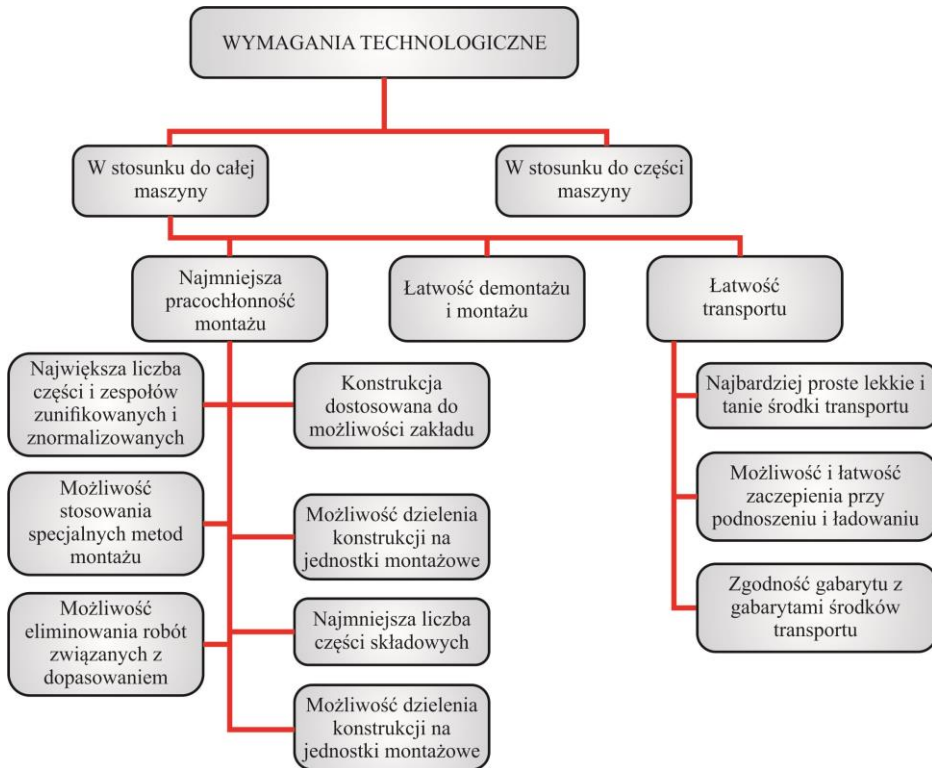
Proces technologiczny montażu jest procesem złożonym, pracochłonnym i ma znaczny udział w kosztach wytwarzania. Duża pracochłonność jest wynikiem złożonych czynności składania i często ręcznego dopasowywania elementów. Dzieje się tak, pomimo znacznego postępu naukowo-badawczego, jaki nastąpił w ostatnich latach, w związku z dynamicznym rozwojem robotów przemysłowych. Udział montażu automatycznego jest ciągle za mały, bo ograniczają jego wzrost koszty jednostkowe montażu oraz zauważalne tendencje do zwiększania udziału produkcji mało- i średnioseryjnych w całości cyklu wytwarzania.

6.7. Metodyka projektowania procesu technologicznego montażu

Przebieg montażu zależy od stopnia złożoności oraz od dokładności wykonania składowych części wyrobu lub maszyny. Typowy montaż może przebiegać z wykorzystaniem nw. zasad [9]:

- Zasada pełnej (całkowitej) zamienności charakteryzuje się zawężeniem pola tolerancji wykonanych części, dzięki czemu każda sztuka z grupy części zamiennych bez dodatkowej obróbki pasuje do montowanego zespołu maszyny. Według tej zasady produkuje się takie części, jak łożyska toczne, części złączne, itp. Zasada ta jest charakterystyczna dla produkcji masowej, a jej wadą są wysokie koszty.
- Zasada częściowej zamienności zakłada, że przypadki najbardziej niekorzystnego zbiegu odchyłek występują bardzo rzadko. Charakteryzuje ją rozszerzenie pola tolerancji, przez co obniża się koszty wykonania. Gdy monter natrafi na element, który źle pasuje odkłada go i bierze inny, a ten z reklamacją odsyła do producenta. Zysk wynikający z obniżenia kosztów wytwarzania jest znacznie większy, niż suma kosztów reklamacji z tytułu części o niepełnej zamienności.
- Metoda selekcji, polega na tym, że produkowane części z rozszerzonym zakresem pola tolerancji, dzieli się na grupy selekcyjne, po szczegółowych pomiarach. W uzyskanych grupach występują już tylko części o podobnie zawężonym polu tolerancji, przez co uzyskuje się wymagany luz.
- Metoda kompensacji polega z kolei na regulacji luzu za pomocą odpowiednich rozwiązań konstrukcyjnych. Regulacja luzu jest możliwa na przykład przez wymianę podkładek różnej grubości, albo przez ich szlifowanie, aż do uzyskania właściwego luzu.

Wymagania technologiczne montażu przedstawiono na rys. 6.7.



Rys. 6.7. Wymagania technologiczne montażu [9]

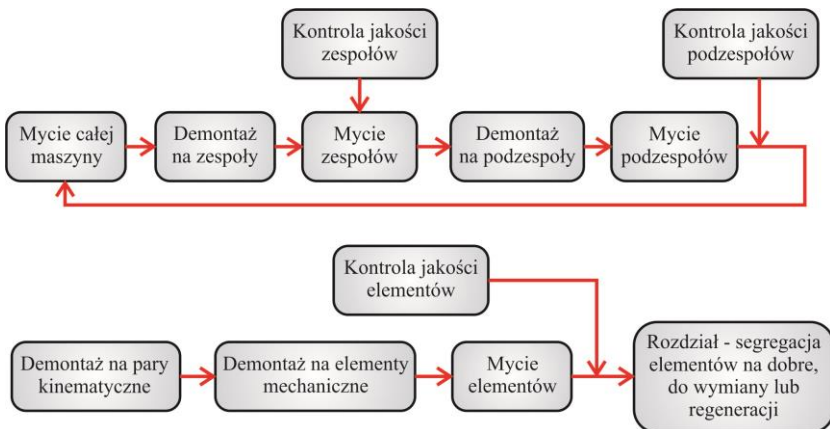
Jak wynika z tego rysunku jednym z ważniejszych wymagań jest podział konstrukcji na mniejsze jednostki, co zwłaszcza w produkcji seryjnej prowadzi do zmniejszenia pracochłonności i ułatwia organizację montażu. Projektowanie procesu technologicznego montażu, w dalszej części jest już w zasadzie identyczne z tym co opisano już wyżej przy projektowaniu procesu obróbki. Realizacja procesu technologicznego montażu odbywa się zgodnie z opracowaną dokumentacją technologiczną montażu (na którą składają się też karty technologiczne i instrukcyjne montażu) i z wykorzystaniem następujących form montażu [9]:

- *montaż stacjonarny jednobrygadowy*, który polega na tym, że brygada na danym stanowisku, wykonuje całość robót (jest charakterystyczny dla produkcji jednostkowej i małoseryjnej),
- *montaż stacjonarny wielobrygadowy* charakteryzuje się tym, że montowane maszyny stoją, a wyspecjalizowane brygady podchodzą do wybranych stanowisk i montują odpowiednie zespoły,
- *montaż ruchomy wielobrygadowy*, polega na tym, że montowane maszyny wędrują w sposób ciągły (okresowy) ze stanowiska na stanowisko, na których wyspecjalizowane brygady składają poszczególne zespoły (ten rodzaj montażu,

podobnie jak montaż stacjonarny wielobrygadowy, stosuje się przy produkcji średnioseryjnej),

- *montaż zróżnicowany* (stosowany w produkcji wielkoseryjnej i masowej), polega na tym, że montowane maszyny wędrują na przenośniku, a przez rozbięcie procesu na poszczególne operacje jest on wykonywany przez wielu pracowników w krótkim czasie. Montaż ten jest realizowany na liniach montażowych.

W procesie technologicznym montażu odrębnego potraktowania wymagają jedynie typowe prace montażowe i prace wykończeniowe [9, 6]. Przed montażem wiele części wcześniej zakonserwowanych, środkami do czasowej ochrony przed korozją, musi zostać umytych. Mycie z punktu widzenia BHP jest operacją trudną, dlatego powinno przebiegać w specjalnych myjkach. Po myciu części powinny być spłukane czystą wodą i wysuszone. Do typowych prac montażowych zalicza się skręcanie elementów z użyciem gwintowanych elementów złącznych (śruby), wykonywanie połączeń wpustowych, klinowych, nitowanych, spawanych, klejonych itp. Proces montażu kończą czynności regulacyjne (regulacja luzów), czynności ochronne i zabezpieczające (ochrona przed korozją na czas transportu) oraz wykańczanie dekoracyjne. Zabezpieczanie antykorozyjne w zależności od rodzaju wyrobu wykonuje się przez malowanie, nanoszenie powłok ochronnych, np. z wazeliny bezkwasowej itp. W procesie technologicznym montażu, należy zwrócić także uwagę na odpowiednie opakowanie składowych części wyrobu lub maszyny, które zabezpiecza się przed zanieczyszczeniami, niekorzystnymi wpływami atmosferycznymi i uszkodzeniami w transporcie.



Rys. 6.8. Przykład demontażu maszyny [6, 9]

Z pojęciem montażu jest ściśle związane zagadnienie demontażu. Demontaż to rozbieranie (rozmontowywanie) wyrobu na zespoły lub zespołu na części [3], jak to uwidoczniło na rys. 6.8.

Demontaż ma miejsce w przypadku procesu technologicznego naprawy, a kolejność realizacji poszczególnych czynności jest odwrotna w stosunku do czynności montażu.

Literatura

- [1] Praca zbiorowa, *Nowa encyklopedia powszechna*. PAN, Warszawa 1998.
- [2] Praca zbiorowa, *Słownik wyrazów obcych*. Europa, Wrocław 2001.
- [3] Praca zbiorowa, *Mały leksykon techniczny. Technologia mechaniczna*. WNT, Warszawa 1990.
- [4] Praca zbiorowa, *Rysunek techniczny*. NOT, Gdańsk 1991.
- [5] **Karpiński T.**, *Inżynieria produkcji*. WNT, Warszawa 2004.
- [6] **Feld M.**, *Podstawy projektowania procesów technologicznych typowych części maszyn*. WN, Warszawa 2003.
- [7] **Zawora J.**, *Podstawy technologii maszyn*. WSiP, Warszawa 2001.
- [8] Praca zbiorowa, *Tolerancje, pasowania i pomiary części maszyn*. NOT, Gdańsk 1992.
- [9] Praca zbiorowa, *Montaż i demontaż maszyn*. NOT, Gdańsk 1991.

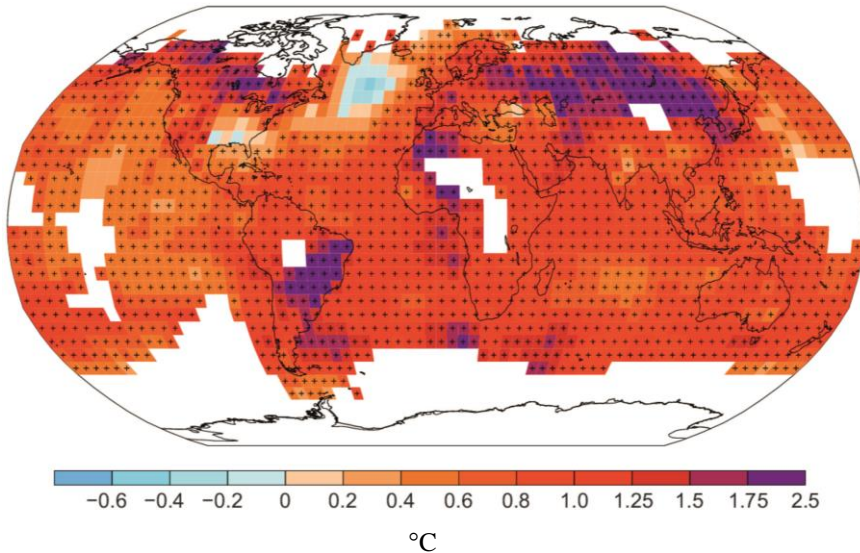
7. TECHNIKA A ŚRODOWISKO

7.1. Wstęp

Dokonujący się postęp techniczny przynosi wiele niekwestionowanych korzyści. Dzięki niemu możemy obserwować intensywny rozwój gospodarki oraz cieszyć się wysokim dobrobytem. Również eksplozja demograficzna była możliwa dzięki zdobyczom postępu technicznego. Niestety, oprócz pozytywnych skutków dynamicznego rozwoju techniki stwarza on również wiele różnorodnych problemów. Znaczna ich część ma związek z nierozłącznym powiązaniem techniki ze środowiskiem przyrodniczym. Po pierwsze – przyroda jest źródłem surowców produkcyjnych. Wszelkie materiały wykorzystywane w gospodarce czerpane są z zasobów przyrody, a ich pozyskiwanie nierzadko przyczynia się do negatywnych zmian w środowisku naturalnym, a nawet jego destrukcji. Po drugie – środowisko przyrodnicze stało się docelowym miejscem dla odpadów (stałych, ciekłych i gazowych) generowanych w związku z bytowaniem człowieka i jego działalnością produkcyjną. Po trzecie – wzrost populacji ludzi i ich potrzeb wywołał silną ekspansję terytorialną obszarów urbanistycznych i przemysłowych. Zwiększanie terytorium zajmowanego przez antroposferę dokonywało się kosztem obszarów występowania dzikiej przyrody. Na rysunku 7.1 pokazano fizyczne i biologiczne zmiany w ekosystemach oraz wzrost temperatury powierzchni Ziemi w latach 1970-2004 [6].

Należy także mieć na względzie, że wszelkie zasoby przyrody są ograniczone. Mowa tu nie tylko o wyczerpujących się surowcach naturalnych, ale również o skończonej zdolności środowiska do akumulowania strumieni odpadów jak i o ograniczonej powierzchni ziemskiego globu. Coraz większa skala działalności człowieka spowodowała zakłócenie zdolności regeneracyjnej ekosystemów oraz zachwianie naturalnej równowagi procesów przyrodniczych. Wyrządzone szkody odbijają się negatywnie również na samej gospodarce, która *de facto* je wywołała. Opracowano nawet metody ekonomiczne pozwalające na oszacowanie wielkości strat finansowych (kosztów zewnętrznych) ponoszonych przez gospodarkę w związku z zagrożeniami środowiskowymi wywołanymi zanieczyszczeniem [1].

Istnieją wyraźne przesłanki wskazujące, że przyszłość cywilizacji ludzkiej zależy od przywrócenia harmonii między człowiekiem a przyrodą. W powyższym aspekcie wysoki poziom rozwoju technicznego pomaga w znajdowaniu i zastosowaniu rozwiązań mających na celu przeciwdziałanie niepożądanym skutkom zanieczyszczenia środowiska oraz zapobieganie zagrożeniom środowiskowym.



Rys. 7.1. Zmiany temperatury powierzchni ziemi 1901-2012 [24]

7.2. Przyczyny i skutki degradacji środowiska naturalnego

Negatywny wpływ postępu technicznego na przyrodę związany jest przede wszystkim z zanieczyszczeniem środowiska naturalnego. Według polskiego prawa przez zanieczyszczenie środowiska rozumie się *emisję, która jest szkodliwa dla zdrowia ludzi lub stanu środowiska, powoduje szkodę w dobrach materialnych, pogarsza walory estetyczne środowiska lub koliduje z innymi, uzasadnionymi sposobami korzystania ze środowiska* [2]. Szczególnie niekorzystny wpływ na środowisko obserwuje się w przypadku emisji substancji niebezpiecznych, którymi są substancje albo mieszaniny substancji, które ze względu na swoje właściwości chemiczne, biologiczne lub promieniotwórcze mogą, w razie nieprawidłowego obchodzenia się z nimi, spowodować zagrożenie życia lub zdrowia ludzi lub środowiska; substancją niebezpieczną może być surowiec, produkt, półprodukt, odpad, a także substancja powstała w wyniku awarii [2].

Degradacja przyrody może dotyczyć różnych elementów środowiska naturalnego narażonych na zanieczyszczenie, takich jak atmosfera, woda czy gleba. Najistotniejsze problemy środowiskowe dotyczą emisji takich czynników, jak:

- ditlenek siarki (SO_2),
- tlenki azotu (m.in. NO_2 , NO , N_2O),
- ditlenek węgla (CO_2),
- tlenek węgla (CO),
- metan,
- chlorowcopochodne związki organiczne (halogenki alkilowe),

- metale ciężkie,
- ozon (O₃),
- pyły,
- ścieki bytowe,
- ścieki przemysłowe,
- substancje troficzne (nawozy sztuczne),
- środki ochrony roślin,
- odpady komunalne,
- odpady przemysłowe,
- promieniowanie jonizujące,
- promieniowanie akustyczne (hałas).

Częstą konsekwencją zanieczyszczenia środowiska są trudne do rozwiązania problemy środowiskowe, które nierzadko wiążą się z poważnym zagrożeniem dla przyrody czy ludzi. W zależności od ilości i natury czynników zanieczyszczających oraz istoty mechanizmów powstawania zagrożeń środowiskowych, skutki zanieczyszczenia mogą mieć różną siłę oddziaływania i charakter – od miejscowego (np. skażenie gruntu odciekami ze składowiska odpadów), po globalny (np. efekt cieplarniany). Przykładami problemów wywołanych zanieczyszczeniem środowiska są:

- zakwaszenie środowiska,
- efekt cieplarniany,
- niszczenie warstwy ozonowej,
- smog,
- eutrofizacja wód powierzchniowych,
- ścieki,
- odpady.

Ważnym problemem środowiskowym jest również wyczerpywanie się zasobów naturalnych. Problem ten dotyczy w szczególności nieodnawialnych surowców mineralnych, których przykłady przytoczono poniżej.

- surowce energetyczne:
 - ropa naftowa,
 - węgiel kamienny i brunatny,
 - gaz ziemny,
 - uran;
- surowce nieenergetyczne:
 - metale,
 - siarka,
 - sole mineralne.

Wymienione powyżej paliwa kopalne są wykorzystywane w produkcji energii elektrycznej i ciepłej oraz w transporcie i mają zasadnicze znaczenie dla prawidłowego rozwoju gospodarki. Spośród surowców nieenergetycznych bardzo ważne znaczenie gospodarcze mają metale, które ze względu na wyjątkowe właściwości fizyczne (przewodność elektryczna i ciepła, wytrzymałość mechaniczna) bardzo trudno zastąpić innymi substancjami we wszystkich zastosowaniach.

Postęp techniczny przyniósł ze sobą wiele poważnych skutków ubocznych. Z drugiej jednak strony dzięki zaawansowaniu technicznemu człowiek był w stanie stworzone przez siebie zagrożenia środowiskowe zidentyfikować, określić ich przyczyny i skutki. Obecnie wysoki poziom rozwoju techniki przyczynia się do rozwiązywania istniejących problemów środowiskowych. W okresie ostatnich dziesięcioleci powstała nowa dziedzina nauk technicznych – inżynieria środowiska. Łącząc w sobie interdyscyplinarną wiedzę techniczną z zakresu inżynierii chemicznej, mechanicznej, elektrycznej, budowlanej, rolniczej i włókienniczej służy ona ochronie bądź przywracaniu naturalnej równowagi środowiska przyrodniczego oraz jego zdolności do samoregeneracji i samooczyszczania [13].

Poniżej zostaną omówione przyczyny, skutki oraz proponowane rozwiązania wybranych problemów środowiskowych.

7.2.1. Zakwaszenie środowiska

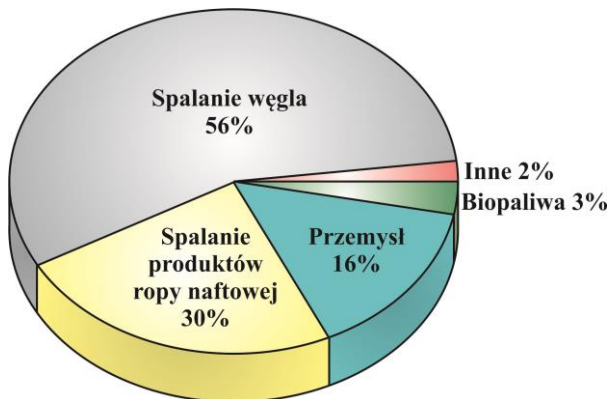
Przyczyną zakwaszenia środowiska jest emisja ditlenku siarki (SO_2) i tlenków azotu (NO_x) do atmosfery. Obecność pary wodnej w powietrzu atmosferycznym umożliwia przekształcanie tych gazów w silne kwasy nieorganiczne – kwas siarkowy (H_2SO_4) i kwas azotowy (HNO_3). W czasie opadów atmosferycznych roztwory tych związków spadają na ziemię w postaci tzw. *kwaśnych deszczy*. Odczyn kwaśnych opadów przyjmuje zwykle wartości $4 < \text{pH} < 5$, podczas gdy w warunkach naturalnych woda opadowa posiada odczyn $\text{pH} \approx 6$. Skutkami zakwaszenia środowiska są:

- niekorzystne oddziaływanie kwasów na korzenie roślin, zwłaszcza drzew iglastych, co szczególnego znaczenia nabiera w przypadku gleb górskich, usytuowanych na skałach o niskiej zawartości składników alkalicznych (takich jak CaO , MgO), które sprzyjałyby zobojętnianiu jonów wodorowych H^+ ,
- zanik chlorofilu roślin, obumieranie liści,
- wzrost aktywności niekorzystnie oddziałujących na rośliny jonów glinu, naturalnie i powszechnie występującego w glebach, który jest spowodowany obniżeniem odczynu pH gleb [3],
- wzrost toksyczności metali ciężkich,
- zmniejszenie w glebie ilości jonów zasadowych (wapnia, magnezu, sodu, potasu), które korzystnie wpływają na rozwój roślin,

- spowolnienie tempa rozkładu materii organicznej i wolniejsze uwalnianie substancji odżywczych dla roślin,
- spadek populacji ryb wrażliwych na niskie pH (pstrągi, jesiotry),
- intensyfikacja procesów korozyjnych (stali, betonu, zaprawy murarskiej, piaskowca, wapienia) – olbrzymie straty w gospodarce związane z niszczeniem budowli, infrastruktury, sprzętu; koniecznością wykonywania częstszych i bardziej kosztownych remontów, ponoszeniem kosztów zabezpieczenia powierzchni metalowych przed korozją (powłoki galwaniczne, lakierowanie).

Powszechnie znanym w Polsce przykładem negatywnego wpływu zakwaszenia środowiska na przyrodę było zniszczenie 90% drzewostanu lasów Gór Izerskich w latach 70. i 80. XX wieku. Główną przyczyną zniszczeń była lokalizacja dużych źródeł emisji SO_2 (elektrownie zasilane węglem brunatnym) w pobliżu zbiegu granic Niemieckiej Republiki Demokratycznej, Czechosłowacji i Polski oraz przewaga zachodniego kierunku wiatru, który przynosił zanieczyszczenie w stronę Gór Izerskich.

Głównymi źródłami emisji ditlenku siarki na świecie jest spalanie węgla i innych paliw kopalnych. Udział poszczególnych źródeł w globalnej emisji SO_2 przedstawiono na rys. 7.2 [4].



Rys. 7.2. Udział poszczególnych źródeł w globalnej emisji SO_2
Źródło: opracowanie własne na podst. [4].

W ciągu ostatnich trzydziestu lat globalna emisja siarki utrzymywała się na podobnym poziomie 70 Tg rocznie. Na początku lat 80. największą część (około 40%) światowej emisji ditlenku siarki powodowały przedsiębiorstwa przemysłowe krajów europejskich. Od tego czasu wysoko uprzemysłowione kraje Europy Zachodniej zmniejszyły emisję tego gazu o połowę, co było możliwe dzięki zwiększeniu efektywności surowcowej i energetycznej procesów technologicznych

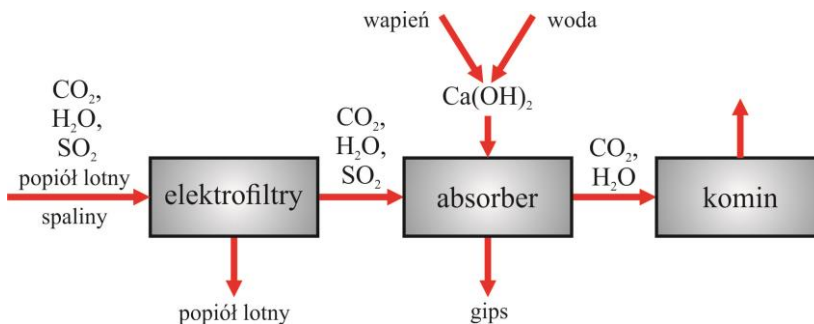
oraz redukcji energochłonnych sektorów gospodarki na rzecz rozwoju branży elektronicznej i telekomunikacyjnej oraz usług. W tym samym czasie udział krajów azjatyckich w globalnej wielkości emisji SO_2 wzrósł z 20% do poziomu około 50%. Azja jest kontynentem, na którym dynamika wzrostu emisji tego gazu w ostatnich dekadach była najsilniejsza na świecie. W latach 1980-2000 poziom emisji siarki na tym obszarze wzrósł ponad dwukrotnie [4].

W Polsce w ciągu ostatnich dwudziestu lat poziom emisji ditlenku siarki zmniejszył się aż o 67%. Redukcja ta była spowodowana przede wszystkim zmniejszeniem się zapotrzebowania na energię związanym z restrukturyzacją i upadkiem wielu przedsiębiorstw przemysłu ciężkiego oraz spadkiem produkcji przemysłowej [11].

Mimo znacznej redukcji emisji ditlenku siarki wielkość emisji tego gazu odniesiona do jednego mieszkańca w Polsce wynosi 38,1 kg SO_2 na osobę i jest dwukrotnie większa od średniej z krajów europejskich, gdzie wskaźnik ten jest równy 19,1 kg SO_2 na osobę [13].

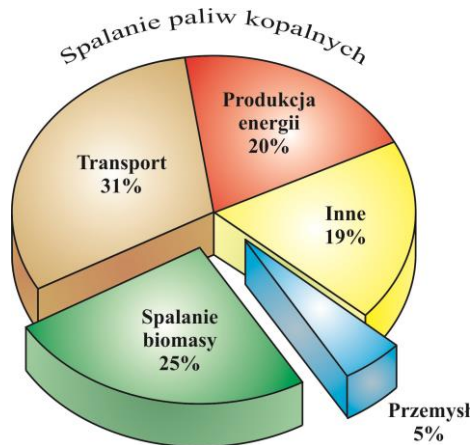
Głównym źródłem emisji ditlenku siarki jest spalanie węgla. Istnieje szereg metod prowadzących do zmniejszania emisji tego gazu do atmosfery. Przykładami mogą być:

- stosowanie węgla o mniejszej zawartości siarki,
- wzbogacanie węgla (głębokie odsiarczanie),
- spalanie produktów pirolizy lub zgazowania węgla zamiast bezpośredniego spalania tego surowca,
- stosowanie sprawnych urządzeń redukujących stężenie ditlenku siarki w gazach odlotowych (przykładowy schemat instalacji odsiarczania spalin przedstawiono na rys. 7.3).



Rys. 7.3. Odsiarczanie spalin metodą mokrą wapienną
Źródło: opracowanie własne na podst. [22].

Globalna emisja azotu wynosi 31 Tg rocznie. Największym źródłem emisji tlenków azotu na świecie jest transport. Udział poszczególnych źródeł w globalnej emisji NO_x przedstawiono na rys. 7.4.



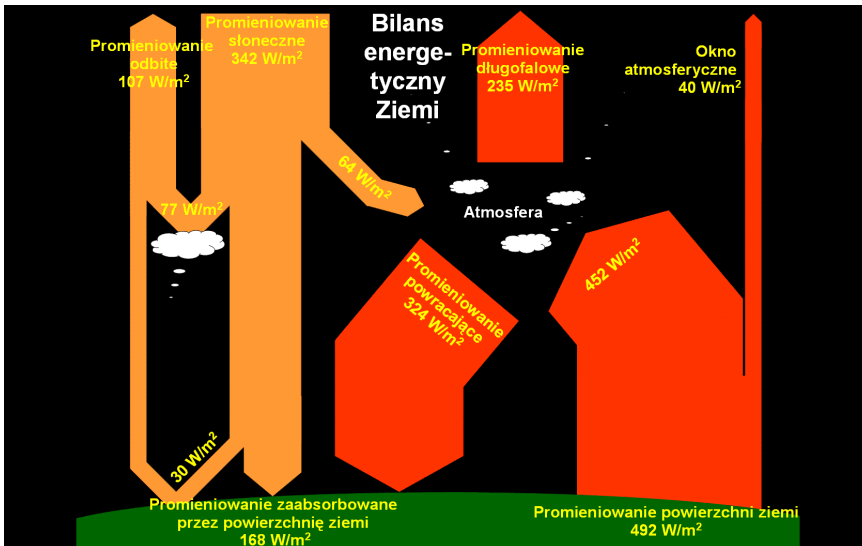
Rys. 7.4. Udział poszczególnych źródeł w globalnej emisji NO_x
Źródło: opracowanie własne na podst. [12].

Ilość emitowanych tlenków azotu w znacznym stopniu zależy od warunków spalania, w tym przede wszystkim od temperatury. Zmniejszenie emisji tego zanieczyszczenia często sprowadza się więc do technologicznych modyfikacji procesu spalania, jak obniżenie temperatury spalania, zmiana geometrii pieca, wielopunktowe doprowadzanie powietrza. Korzystnym rozwiązaniem jest stosowanie technologii fluidalnych, zapewniających intensywne mieszanie pyłu węglowego z powietrzem i umożliwiające prowadzenie procesu spalania w stosunkowo niskiej temperaturze. Zaletą przeprowadzania wymienionych działań jest uzyskanie redukcji emisji NO_x „u źródła”, czyli zapobieganie wytwarzaniu tlenków azotu zamiast zmniejszania jego ilości w strumieniu gazów odlotowych.

7.2.2. Efekt cieplarniany

Efekt cieplarniany (efekt szklarniowy) jest zjawiskiem podwyższenia temperatury planety spowodowanego obecnością w atmosferze gazów cieplarnianych, pyłów i aerozoli zakłócających wymianę energii cieplnej między planetą a kosmosem [5]. Często jednak, w związku z negatywnym wpływem działalności człowieka na przyrodę, terminem tym określa się zwiększenie wpływu tego efektu na bilans cieplny Ziemi wywołany emisją zanieczyszczeń do atmosfery. Zjawisko to jest główną przyczyną globalnego ocieplania, czyli podwyższenia średniej temperatury powierzchni Ziemi [6]. Dalsza część rozdziału dotyczy tego właśnie zjawiska.

Równowaga termiczna Ziemi polega na tym, że ilość energii słonecznej docierającej do powierzchni naszej planety oraz ilość energii cieplnej wypromieniowywanej przez powierzchnię Ziemi w kosmos są sobie w przybliżeniu równe. Bilans energetyczny Ziemi został przedstawiony na rys. 7.5 [7]. Istotą efektu cieplarnianego jest zakłócenie tej równowagi na skutek absorpcji części emitowanego promieniowania podczerwonego przez obecne w atmosferze gazy cieplarniane. Skutkiem tego zjawiska jest akumulacja energii cieplnej w atmosferze ziemskiej, skutkująca wzrostem globalnej temperatury.



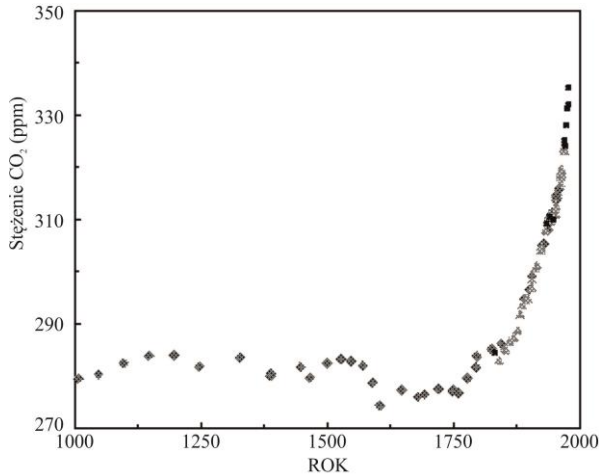
Rys. 7.5. Bilans energetyczny Ziemi
Źródło: opracowanie własne na podst. [7].

Wśród gazów cieplarnianych największy wpływ na globalne ocieplenie przypisuje się gazom, takim jak:

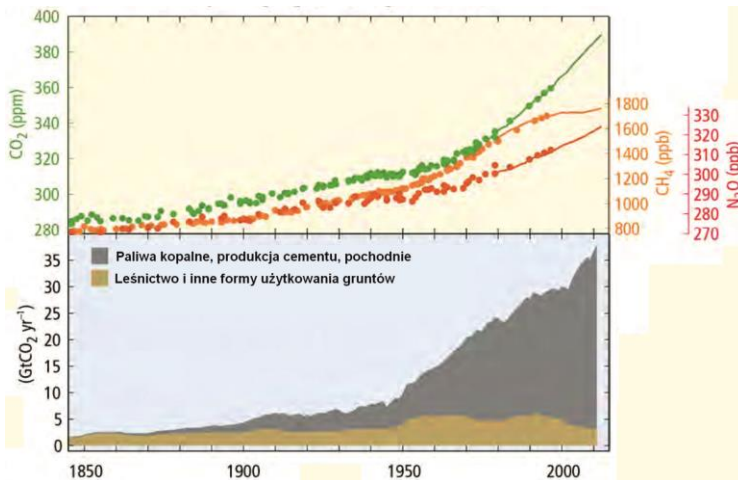
- ditlenek węgla,
- metan,
- ozon troposferyczny,
- chlorowcopochodne związki organiczne (halogenki alkilowe),
- podtlenek azotu,
- stratosferyczna para wodna.

W okresie ostatnich 250 lat stężenie gazów cieplarnianych w atmosferze wyraźnie wzrosło. Względny wzrost stężenia ditlenku węgla wyniósł 38%, nadtlenuku azotu – 18%, natomiast ilość metanu zwiększyła się w tym czasie aż o 148% [6].

Na rysunku 7.6 pokazano zmiany wartości stężenia ditlenku węgla w atmosferze ziemskiej na przestrzeni ostatniego tysiąclecia [10], natomiast rys. 7.7 przedstawia wzrost globalnej emisji gazów cieplarnianych w latach 1970-2004 [6].



Rys. 7.6. Stężenie ditlenku węgla w atmosferze ziemskiej w wiekach XI-XX [10]



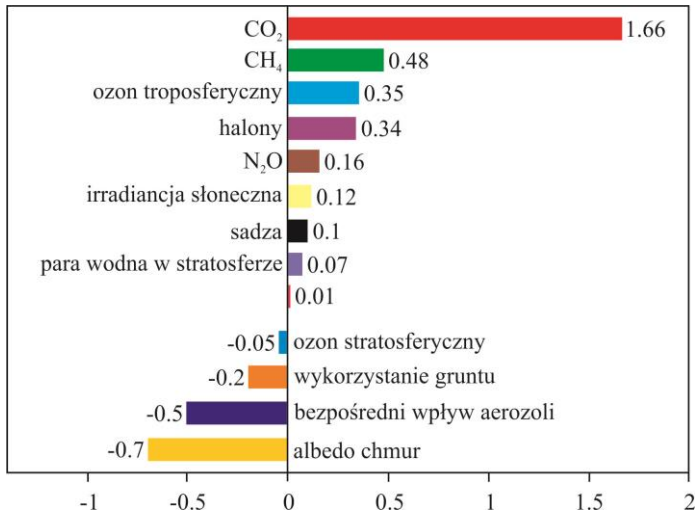
Rys. 7.7. Globalne stężenie gazów cieplarnianych i antropogeniczna emisja CO₂ w latach 1845-2012 [23]

Wpływ na nasilenie efektu cieplarnianego mają również inne czynniki, jak:

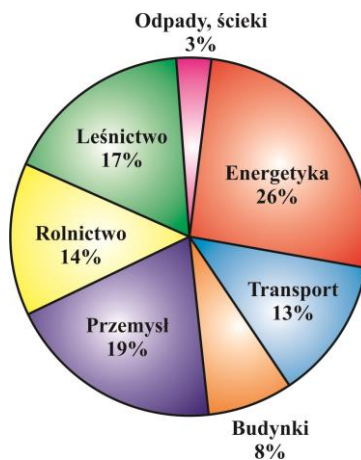
- natężenie promieniowania słonecznego (zależne od aktywności słońca),
- występowanie sadzy na śniegu,
- smugi kondensacyjne odrzutowców.

- Istnieją również czynniki osłabiające efekt cieplarniany, jak np.:
- odbijanie promieni słonecznych przez chmury (albedo chmur),
 - wpływ aerozoli atmosferycznych,
 - użytkowanie gruntów,
 - ozon stratosferyczny.

Na rysunku 7.8 przedstawiono wielkości wpływu poszczególnych czynników na efekt cieplarniany [opracowanie własne na podst. 6], natomiast rys. 7.9 przedstawia udział różnych sektorów w antropogenicznej GHG emisji gazów cieplarnianych [6].



Rys. 7.8. Wpływ poszczególnych czynników na efekt cieplarniany
Źródło: opracowanie własne na podst. [6].

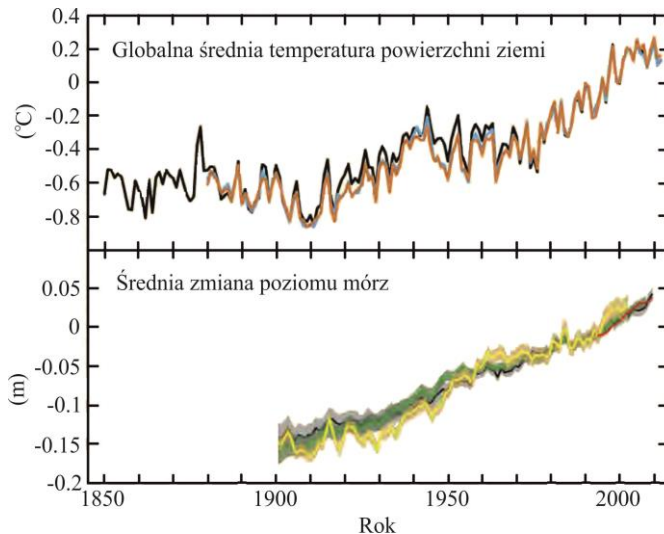


Rys. 7.9. Udział różnych sektorów w antropogenicznej emisji gazów cieplarnianych [6]

Konsekwencją globalnego ocieplenia jest:

- regresja lodowców powodująca podnoszenie się poziomu wody w morzach i oceanach (według różnych źródeł w latach 1990-2100 poziom oceanów może wzrosnąć o 11-77 cm [8]),
- zmiana ilości i rozkładu opadów atmosferycznych, a co za tym idzie – zmiana klimatu regionów Ziemi powodująca przeobrażenie ekosystemów, zmianę zasięgu, wydajności i jakości upraw, przekształcenie obszarów występowania chorób,
- wzrost liczby ekstremalnych zjawisk pogodowych, m.in. takich jak fale upałów, powódzie, susze, cyklony tropikalne [9].

Na rysunku 7.10 przedstawiono wzrost globalnej temperatury oraz wzrost poziomu mórz [23].



Rys. 7.10. Średnia temperatura powierzchni ziemi i zmiana poziomu mórz [23]

Przeciwdziałanie niepożądanym skutkom efektu cieplarnianego sprowadza się przede wszystkim do redukcji ilości gazów cieplarnianych w atmosferze. W związku z tym kraje Unii Europejskiej podjęły zdecydowane działania prowadzące do osiągnięcia tego celu. Państwa te zobowiązały się do 2020 roku:

- ograniczyć emisję gazów cieplarnianych o 20% w stosunku do poziomu emisji z roku 1990,
- zmniejszyć zużycie energii o 20%,
- zwiększyć udział produkcji energii z odnawialnych źródeł do 30% oraz udział biopaliw w sektorze transportu do 10%.

Bardzo istotnym zagadnieniem w aspekcie walki z globalnym ociepleniem jest również promowanie bezpiecznych dla środowiska technologii wychwytywania i składowania ditlenku węgla. Bez takich działań stężenie gazów cieplarnianych w atmosferze nie zmniejszy się.

7.3. Degradacja wody

Jak powszechnie wiadomo, woda jest substancją niezbędną do życia człowieka. Wyjątkowe znaczenie wody wynika przede wszystkim z potrzeb pokarmowych i sanitarnych człowieka związanych z jego fizjologią. Ponadto działalność gospodarza (rolnicza, hodowlana, przemysłowa) człowieka również wiąże się z dużym zapotrzebowaniem na ten surowiec.

Powszechne wykorzystanie dużych ilości wody skutkuje masową skalą wytwarzanych ścieków, które ostatecznie są odprowadzane do odbiorników naturalnych, najczęściej do wód powierzchniowych.

Światowe zasoby wody są olbrzymie, wynoszą 1386 mln km³, lecz przeważającą ich część (97,5%) stanowi woda słona, która nie nadaje się do bezpośredniego wykorzystania. Główna część zasobów wody słodkiej jest natomiast uwięziona w lodowcach oraz głęboko pod ziemią. Woda możliwa do wykorzystania przez człowieka stanowi zaledwie 0,01% ogólnych zasobów wody na świecie [14].

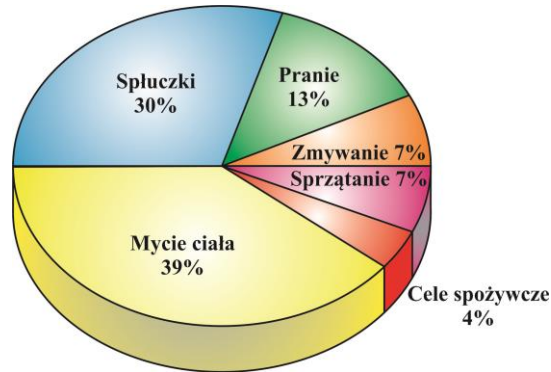
Źródłem wody potrzebnej człowiekowi są wody powierzchniowe i gruntowe. Aby mogły być one wykorzystane przez człowieka, czy to do celów bytowych, rekreacyjnych czy przemysłowych, muszą charakteryzować się odpowiednią jakością. Jakość ta jest bezpośrednio związana ze stopniem degradacji wód. Głównymi czynnikami zanieczyszczającymi wodę i pogarszającymi jej właściwości są:

- ścieki bytowe i komunalne,
- ścieki przemysłowe,
- nawozy sztuczne,
- środki ochrony roślin.

Właściwości ścieków bytowych wynikają przede wszystkim z ilości i struktury wykorzystania wody w gospodarstwach domowych (rys. 7.11). Przeciętny Polak zużywa około 100 dm³ wody na dobę. Skutkiem wykorzystania wody jest wytwarzanie podobnej objętości ścieków bytowych. Cechą charakterystyczną tego rodzaju ścieków jest:

- wysokie stężenie substancji biogenych (związków azotu i fosforu),
- wysoki wskaźnik BZT₅ związany z występowaniem substancji organicznych,
- relatywnie niski wskaźnik ChZT,
- duża zawartość zawiesin,

- obecność mikroorganizmów chorobotwórczych stwarzających zagrożenie sanitarno-epidemiologiczne.

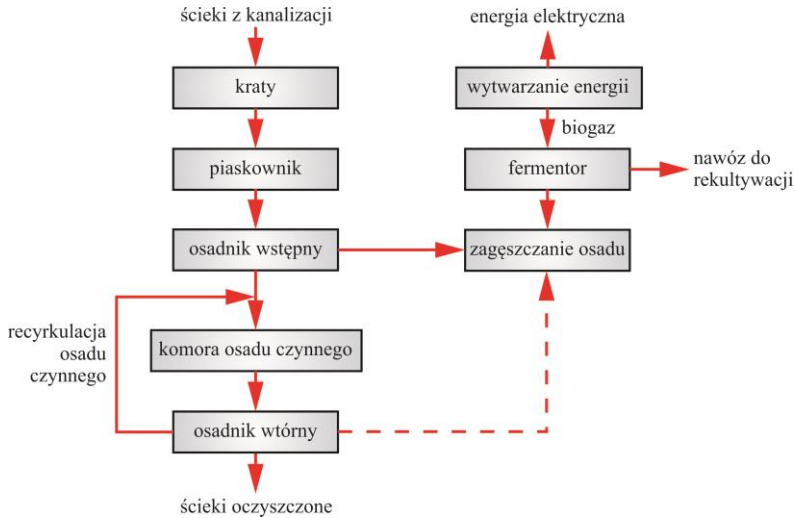


Rys. 7.11. Struktura celów wykorzystania wody w gospodarstwach domowych
Źródło: opracowanie własne na podst. [18].

Ze względu przede wszystkim na wysokie wartości pierwszych dwóch wskaźników, kilkakrotnie przekraczające dopuszczalne normy, ścieki bytowe przed odprowadzeniem do naturalnego odbiornika wymagają oczyszczenia. Wprowadzanie ścieków bezpośrednio do wód powierzchniowych może skutkować znacznym pogorszeniem się własności wody, eutrofizacją rzek i zbiorników wodnych, a nawet całkowitym zanikiem fauny wodnej. Zmniejszenie biologicznego zapotrzebowania tlenu może być dokonane za pomocą powszechnie stosowanych metod biologicznego oczyszczania ścieków np. metodą osadu czynnego (patrz rys. 7.12). Trudniejszym zadaniem jest redukcja stężenia związków azotu w strumieniu ścieków. Wymaga zastosowania procesów nityfikacji, a następnie denityfikacji, prowadzących do przekształcenia związków amonowych i azotanów do gazowego azotu. Największy problem jest związany z koniecznością zmniejszenia ilości fosforanów w ściekach. Jak dotąd nie opracowano taniej i skutecznej technologii usuwania związków fosforu ze ścieków [13].

Ścieki przemysłowe są produktem ubocznym procesów technologicznych. Właściwości ścieków przemysłowych mogą być bardzo różne w zależności od gałęzi przemysłu czy procesu w jakim powstały. Ścieki te mogą się cechować wysokimi stężeniami różnorodnych substancji chemicznych, nierzadko szkodliwych i toksycznych, jak np. węglowodory aromatyczne i ich pochodne, w tym również związki chlorowców, cyjanki, siarczany, tiosiarczany, siarczki, azotany, fosforany, związki chlorowców czy metale ciężkie (chrom, kadm, rtęć, ołów, cynk). Obecność w ściekach takich substancji może zakłócać lub uniemożliwiać przebieg procesów biologicznego oczyszczania. W związku z tym ścieki takie, zanim trafią do komory

osadu czynnego, powinny być wstępnie oczyszczone chemicznie (fizykochemicznie) w celu usunięcia lub unieszkodliwienia substancji niekorzystnie oddziałujących. Techniki wstępnego oczyszczania strumieni ścieków przemysłowych mogą być bardzo różne. Wybór metody zależy głównie od składu ścieków.



Rys. 7.12. Schemat procesu biologicznego oczyszczania ścieków metodą osadu czynnego
Źródło: opracowanie własne.

Kolejnym poważnym źródłem zanieczyszczeń wód powierzchniowych jest rolnictwo. Gospodarka rolna wiąże się z wprowadzaniem do środowiska substancji mających na celu poprawę efektywności produkcji. Są to przede wszystkim nawozy sztuczne. Część nawozów jest wypłukiwana z gleby przez opady atmosferyczne i wraz z wodą deszczową niesiona do naturalnych odbiorników. Zjawisko to jest przyczyną eutrofizacji wód powierzchniowych, czyli powodowania ich nadmiernej żyzności (zwiększania stężenia substancji troficznych w wodzie). Eutrofizacji sprzyjają systemy odwadniające pola uprawne, gdyż rowy melioracyjne ułatwiają przedostawanie się związków azotu i fosforu do rzek i jezior. Inną przyczyną eutrofizacji jest brak w oczyszczalniach ścieków stopnia podwyższonego usuwania substancji biogennej, które w ściekach bytowych występują w dużych ilościach w związku z powszechnym wykorzystywaniem detergentów w gospodarstwach domowych.

Skutki eutrofizacji najwyraźniej są widoczne w zbiornikach wodnych. Następstwem nadmiernego stężenia substancji pokarmowych w wodzie jest zintensyfikowane namnażanie się organizmów fitoplanktonowych (glonów, sinic), które na powierzchni wody tworzą kożuchy biomasy (tzw. „zakwity wody”) i prowadzą do pogorszenia warunków świetlnych w zbiorniku, zmniejszenia

przezroczystości wody, zamulania się dna zbiornika. Niektóre organizmy (sinice) nierzadko wydzielają toksyczne związki. Rozwijające się populacje drobnoustrojów pobierają z wody coraz większe ilości tlenu. Zmniejszenie ilości rozpuszczonego tlenu i tworzenie się obszarów beztlenowych prowadzi do zanku ryb i innych organizmów aerobowych (tlenowców), których miejsce zajmują organizmy anaerobowe. W warunkach beztlenowych prawidłowy rozkład martwych szczątków organicznych nie jest możliwy, zachodzą procesy gnilne, w wyniku których wydzielane mogą być niekorzystne dla środowiska związki, jak np. siarkowodór, metan czy amoniak. Ich obecność w wodzie powoduje m.in. pogarszanie się smaku i zapachu wody. Wykorzystanie wody z zeutrofizowanych zbiorników do celów bytowych czy gospodarczych jest bardzo ograniczone (lub wręcz niemożliwe) i wiąże się z ponoszeniem dużo wyższych kosztów uzdatniania wody. Zakwity fitoplanktonu powodują zaś utratę walorów rekreacyjnych wód nadmiernie żyznych.

Metodami zapobiegania eutrofizacji są:

- ograniczenie ilości stosowanych nawozów sztucznych w rolnictwie, stosowanie nawozów o spowolnionym działaniu [13],
- biologiczne oczyszczanie ścieków bytowych z podwyższonym usuwaniem substancji biogennych,
- ograniczenie ilości używanych detergentów, redukcja zawartości fosforanów w środkach piorących.

Określenie jakości wody polega na zbadaniu jej właściwości i sprowadza się do wyznaczenia klasy czystości wody. Od 1991 roku w polskie prawodawstwo wyróżniało wody trzech klas czystości oraz wody nieodpowiadające normom [15]:

- wody I klasy mogły być źródłem wody pitnej dla ludności, zaopatrywać gałęzie przemysłu wymagające wody wysokiej jakości oraz służyć do hodowli ryb łososiowatych,
- wody II klasy mogły być źródłem zaopatrzenia w wodę hodowli zwierząt, a także służyć do celów rekreacyjnych, sportowych oraz do hodowli ryb z wyjątkiem łososiowatych,
- wody III klasy mogły być źródłem zaopatrzenia w wodę gałęzi przemysłu o małych wymaganiach co do jakości wody oraz służyć do celów nawodnienia terenów rolnych i ogrodniczych.

W 2004 roku sytuacja prawna uległa zmianie. Wprowadzono klasyfikację przewidującą 5 klas czystości wody [16]. Obecnie obowiązujący w tym zakresie akt prawny wszedł w życie w październiku 2014 roku i podtrzymał 5 klas czystości wody [17]. Aktualne rozporządzenie określa sposób klasyfikacji stanu jednolitych części wód powierzchniowych, m.in. sposób klasyfikacji:

- a) elementów fizykochemicznych, biologicznych i hydromorfologicznych, w oparciu o wchodzące w ich skład wskaźniki jakości, dla poszczególnych

- kategorii jednolitych części wód, uwzględniający różne typy wód powierzchniowych,
- b) stanu ekologicznego jednolitych części wód powierzchniowych w ciekach naturalnych, jeziorach lub innych zbiornikach naturalnych, wodach przejściowych oraz wodach przybrzeżnych,
 - c) potencjału ekologicznego jednolitych części wód powierzchniowych sztucznych i silnie zmienionych,
 - d) stanu chemicznego jednolitych części wód powierzchniowych i środowiskowe normy jakości dla substancji priorytetowych [17].

Odpady stałe

Terminem odpad określa się każdą substancję lub przedmiot, których posiadacz pozbywa się, zamierza się pozbyć lub do których pozbycia się jest obowiązany [20].

Ze względu na wzrost populacji ludzi oraz postęp techniczny, który umożliwił wzrost szybkości wytwarzania i doprowadził do nadprodukcji dóbr konsumpcyjnych, powstawanie odpadów staje się coraz poważniejszym problemem cywilizacyjnym i środowiskowym. Przyczyniają się do tego również zabiegi marketingowe prowadzące do skrócenia cyklu życia wielu wyrobów powszechnego użytku i wywołujące tendencje do przypisywania przesadnego znaczenia aspektom opakowania.

Z problemem odpadów łączy się kilka zasadniczych kwestii środowiskowych:

- jako źródło zanieczyszczeń stwarzają one zagrożenie emisją niebezpiecznych substancji do środowiska przyrodniczego,
- jako źródło surowców stanowią one cenne zasoby materiałów, które na drodze odzysku mogą zostać wykorzystane w produkcji dóbr zamiast uszczuplania naturalnych zasobów odpowiednich surowców,
- jako element antroposfery o dużej objętości zajmują znaczne obszary lądu.

W związku z powyższym przepisy polskiego prawa przewidują hierarchię postępowania z odpadami, która określa kolejność sposobów i metod począwszy od tych, które powinny być rozważane w pierwszej kolejności, po te które mogą być stosowane w ostateczności w celu unieszkodliwiania odpadów:

- 1) zapobieganie powstawaniu odpadów,
- 2) przygotowywanie do ponownego użycia,
- 3) recykling,
- 4) inne procesy odzysku,
- 5) unieszkodliwianie [20].

W zależności od pochodzenia odpady możemy podzielić na dwie najważniejsze grupy: odpady przemysłowe i komunalne.

Cechami charakterystycznymi odpadów przemysłowych są:

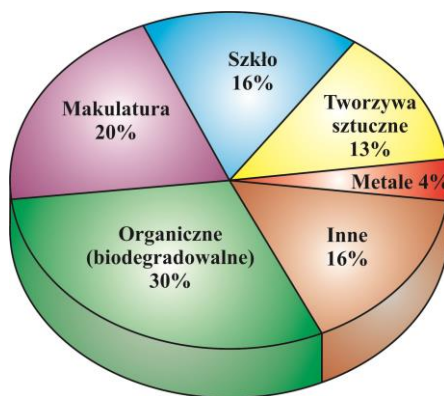
- określony i przewidywalny skład,
- określona i przewidywalna ilość,
- niewielka liczba źródeł emisji odpadów danego typu o ściśle określonej lokalizacji,
- źródła te emitują zwykle duże ilości odpadów,
- istnieją skuteczne sposoby monitoringu składu i ilości wytwarzanych odpadów,
- względna łatwość zorganizowania skutecznej zbiórki, transportu, magazynowania, unieszkodliwiania,
- łatwe egzekwowanie prawa w przypadku jego złamania (ściśle określona odpowiedzialność) [13].

W przypadku odpadów przemysłowych odzyskać udaje się zdecydowaną większość (79%) materiałów zawartych w odpadach, składowaniu zaś poddaje się nie tak znaczącą część odpadów przemysłowych (17,8%).

Charakter odpadów komunalnych jest zupełnie inny. Cechują je:

- zmienny i trudno przewidywalny skład,
- zmienna i trudno przewidywalna ilość,
- małe i rozproszone źródła emisji,
- trudność w zorganizowaniu skutecznej selektywnej zbiórki, transportu, magazynowania, unieszkodliwiania,
- trudność w egzekwowaniu prawa w przypadku jego złamania (rozmyta odpowiedzialność) [13].

Na rysunku 7.13 przedstawiono skład morfologiczny odpadów komunalnych powstających w Łodzi.

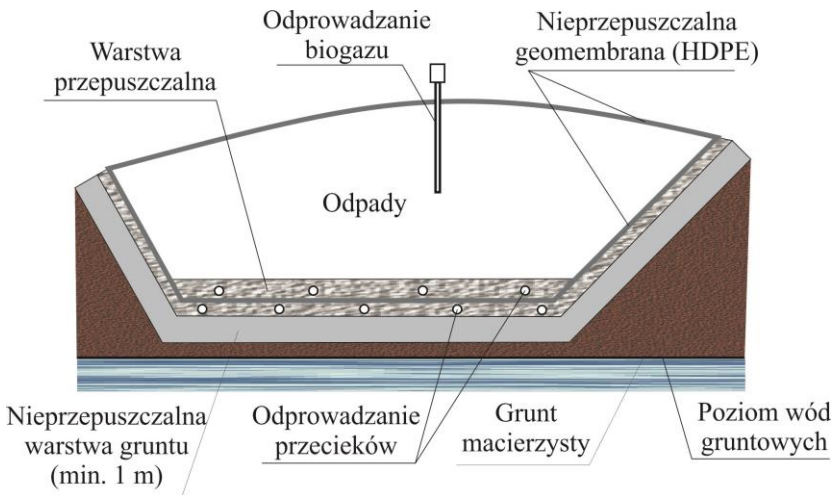


Rys. 7.13. Skład morfologiczny łódzkich odpadów komunalnych

Źródło: opracowanie własne na podst. [13].

Charakter odpadów komunalnych implikuje wiele problemów, w wyniku czego w Polsce jedynie z setnej części odpadów komunalnych (1,1%) udaje się odzyskać surowce wtórne, natomiast dominującym sposobem ich utylizacji nadal pozostaje składowanie (96,5%). Dzieje się tak, mimo że w gospodarce odpadami składowanie jest ostatecznością i powinno być stosowane jedynie w przypadku odpadów przetworzonych [21].

Ze względu na obecność w odpadach komunalnych znacznych ilości związków organicznych (biodegradowalnych) oraz nieprzewidywalnych ilości substancji niebezpiecznych, aby zapewnić bezpieczne warunki deponowania, konstrukcja składowiska takich odpadów musi spełniać szereg warunków. Schemat budowy składowiska odpadów przedstawiony jest na rys. 7.14.



Rys. 7.14. Budowa składowiska odpadów komunalnych

Źródło: opracowanie na podst. [13].

Głównym zabezpieczeniem przed możliwością emisji niebezpiecznych odcieków jest nieprzepuszczalna membrana. Dodatkowo, ze względów bezpieczeństwa, lokalizacja składowiska nie może być przypadkowa – dno składowiska powinno być usytuowane nad nieprzepuszczalną warstwą gruntu, co najmniej 1 m powyżej poziomu lustra wód gruntowych. Ocieki mają być odbierane systemem drenażu i poddawane oczyszczaniu zanim trafią do naturalnego odbiornika. Na skutek beztlenowych procesów fermentacyjnych w składowisku następuje rozkład odpadów. Z każdej tony odpadów komunalnych wydziela się około 250 m³ tzw. gazu wysypiskowego. Skład takiego gazu jest przedstawiony w tabeli 7.1. Składowisko powinno być wyposażone w system odprowadzania gazu wysypiskowego. Ze względu na zawartość metanu gaz ten może być wykorzystywany

energetycznie (np. podgrzewanie pomieszczeń, wody, produkcja ciepła dla kompostowni, produkcja energii elektrycznej), a w ostateczności spalany w pochodni.

Tabela 7.1. Skład gazu wysypiskowego [13]

Składnik	Wzór chemiczny	Udział objętościowy [%]
Metan	CH ₄	15-60
Ditlenek węgla	CO ₂	10-40
Azot	N ₂	1-60
Tlen	O ₂	1-8
Siarkowodór	H ₂ S	1

7.4. Podsumowanie

Zanieczyszczenie środowiska niesie ze sobą wiele różnorodnych zagrożeń dla przyrody, człowieka i gospodarki. Omówione powyżej problemy środowiskowe to jedynie wybrane przykłady negatywnych skutków dokonującego się postępu technicznego. Z drugiej jednak strony wysoki poziom rozwoju technicznego umożliwia prawidłową identyfikację tych problemów, poznawanie mechanizmów ich powstawania, a także pomaga znaleźć rozwiązania mające na celu przeciwdziałanie niepożądanym skutkom zanieczyszczenia środowiska. Niestety, sama wiedza i dysponowanie odpowiednimi metodami nie gwarantuje jeszcze sukcesu w przywracaniu harmonii między człowiekiem a przyrodą. Bardzo poważnymi przeszkodami na tej drodze są aspekty mentalne, socjologiczne oraz ekonomiczne.

Literatura

- [1] **Żylicz T.**, *Ekonomia środowiska i zasobów naturalnych*. Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa 2004.
- [2] Ustawa z dnia 27 kwietnia 2001 r. Prawo ochrony środowiska, Dz. U. z dnia 20 czerwca 2001 r. nr 62 poz. 627.
- [3] **Frankowski M., Ziola A., Siepak J.**, Źródło i formy występowania glinu w środowisku. *Laboratorium* 7/2008, s. 62.
- [4] **Smith S. J., Pitcher H., Wigley T. M. L.**, Global and regional anthropogenic sulfur dioxide emissions, *Global and Planetary Change*, 29, 2001.
- [5] **Markowicz K. M., Flatau P. J., Vogelmann A. M., Quinn P. K., Welton E. J.**, Clear-sky infrared radiative forcing at the surface and the top of the atmosphere, *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, 129, ss. 2927-2947.
- [6] *Climate Change 2007: Synthesis Report*, Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), Genewa, 2008.
- [7] **Kiehl J. T., Trenberth, K. E.**, Earth's annual global mean energy budget, *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 78(2), 1997, ss. 197-208.

- [8] **Church J. A.** et al., Executive Summary of Chapter 11 (en). W: Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [on-line]. IPCC, 2001.
- [9] Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (en). IPCC, 2001.
- [10] **Gray V. R.**, Atmospheric Carbon Dioxide, Greenhouse Bulletin 120, 1999.
- [11] Ochrona środowiska 2003 informacje i opracowania statystyczne. Główny Urząd Statystyczny, Warszawa, 2003.
- [12] **Olivier J. G. J., Bouwman A. F., Van der Hoek K. W., Berdowski J. J. M.**, Global air emission inventories for anthropogenic sources of NO_x, NH₃ and N₂O in 1990. Environmental Pollution, 102, Supplement 1, 1998, ss. 135-148.
- [13] **Zarzycki R., Imbierowicz M., Stelmachowski M.**, Wprowadzenie do inżynierii i ochrony środowiska. Wydawnictwa Naukowo Techniczne, Warszawa 2006.
- [14] Pigram J.J., Australia's Water Resources From Use to Management. CSIRO Publishing, Collingwood Victoria, 2006.
- [15] Rozporządzenie Ministra Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa z dnia 5 listopada 1991r., Dz. Ust. Nr 116 poz. 503, w sprawie klasyfikacji wód oraz warunków, jakim powinny odpowiadać ścieki wprowadzane do wód lub do ziemi.
- [16] Rozporządzenie Ministra Ochrony Środowiska z dnia 11 lutego 2004 r. w sprawie klasyfikacji dla prezentowania stanu wód powierzchniowych i podziemnych, sposobu prowadzenia monitoringu oraz sposobu interpretacji wyników i prezentacji stanu tych wód (Dz. U. Nr 32, poz. 284).
- [17] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 22 października 2014 r. w sprawie sposobu klasyfikacji stanu jednolitych części wód powierzchniowych oraz środowiskowych norm jakości dla substancji priorytetowych, Dz.U. 2014 poz. 1482.
- [18] **Siwoń Z.**, Problemy modelowania i eksploatacji systemów dystrybucji wody. IV Międzynarodowa Konferencja „Zaopatrzenie w wodę, jakość i ochrona wód”, Tom I, Kraków, 2000, ss. 735-754.
- [19] Ustawa z dnia 14 grudnia 2012 r. o odpadach, Dz.U. 2013 poz. 21.
- [20] Rocznik statystyczny. Ochrona środowiska 2005. Główny Urząd Statystyczny, Warszawa 2005.
- [21] **Kalyoncu R. S., Olson D. W.**, Coal Combustion Products, U.S. Geological Survey, Fact Sheet 076-01, United States Geological Survey, ACAA International.
- [22] **Pachauri R. K., Meyer L.** (red.) Climate Change 2014, Synthesis Report, Summary for Policymakers, IPCC, 2014.
- [23] IPCC, 2013: Summary for Policymakers. In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

ISBN 978-83-7283-790-5