

Korpusy maszyn i urządzeń

część 4

W ostatniej części naszego opracowania, zgodnie z zapowiedzią, przedstawimy zagadnienia związane z technologicznością konstrukcji korpusów spawanych oraz kwestie pomiarów i napraw korpusów.

Aleksander Łukomski

Technologiczność konstrukcji spawanych

Przy konstruowaniu wszelkich korpusów należy zastanowić się nad ich technologicznością. Chociaż opisane w niniejszym rozdziale zagadnienia dotyczą korpusów spawanych, zasady tu przedstawione odnoszą się także do innych korpusów, z innych materiałów.

Przez technologiczność konstrukcji spawanych rozumie się takie ich rozwiązanie, które przy spełnieniu warunku najlepszej jakości konstrukcji uwzględnia najbardziej racjonalny jej kształt (przy danej technice wytwarzania) oraz wybór materiałów i metod produkcji (przy najmniejszym nakładzie środków produkcji i czasu).

Występuje tutaj duża zależność konstrukcji i technologii wykonania tej konstrukcji. Jest to obszerne zagadnienie. Wchodzą tu w rachubę takie pojęcia, jak wadliwość konstrukcji i spoin, przeszytywnienie konstrukcji, odkształcenia wywołane procesem spawania, wytrzymałość spoin w zależności od ich kolejności spawania, typizacja, normalizacja i unifikacja elementów konstrukcji spawanej, prefabrykacja. Konstruktor powinien przemyśleć projektowaną konstrukcję biorąc pod uwagę wszystkie te wymienione elementy, bo to od jego wiedzy i doświadczenia zależeć będzie czy korpus będzie dobry i tani. W największym skrócie można powiedzieć, że konstruktor powinien wiedzieć, co najmniej, jak ten rysowany przez siebie korpus wykonać i zmierzyć.

Technologiczność konstrukcji można sprawdzić poprzez wyliczenie pewnych wskaźników. W technice nie wystarczy powiedzieć, że coś jest dobre lub złe, albo lepsze lub gorsze. Powinno się to udowodnić analizą i odpowiednimi wskaźnikami. Projektowanie

konstrukcji rozpoczyna się od analizy techniczno-ekonomicznej różnych wariantów rozwiązań, badając zużycie materiału, pracochłonność, koszty przygotowania i montażu konstrukcji. Przez porównanie wskaźników techniczno-ekonomicznych można dokonać wyboru optymalnego wariantu rozwiązania.

Na podstawie dokumentacji konstrukcyjnej można określić następujące wskaźniki technologiczności konstrukcji:

- stopień typizacji,
- wskaźnik wielkości serii,
- wskaźnik technologiczności przygotowania i spawania części i podzespołów tj. ilości części składowych i napawanego spoiwa na 1 tonę konstrukcji, stopień mechanizacji prac spawalniczych,
- wskaźnik technologiczności montażu tj. ilość elementów, podzespołów i zespołów prefabrykowanych oraz napawanego spoiwa na 1 tonę konstrukcji, jak również stopień mechanizacji prac montażowych.

Stopień typizacji określa się korzystając z istniejących katalogów typowych podzespołów i zespołów. Jeżeli nie ma takich katalogów stopień ten można wyliczyć ze wzoru:

$$T = \frac{n_T}{n_T + n_N} \cdot 100\%$$

gdzie:

n_T – liczba typowych elementów

n_N – liczba nietypowych elementów

Wskaźnik wielkości serii. Bezwzględna wielkość serii określa się ilością sztuk jednakowych elementów.

Względna oblicza się ze wzoru :

$$S_k = \frac{K_e}{K_T}$$

gdzie:

K_T – liczba typów jednakowych elementów w ze-
spole konstrukcyjnym

K_e – ogólna liczba jednakowych elementów w ze-
spole

Ze wzrostem bezwzględnej wielkości serii maleje
czas operacji pomocniczych, co wyraża się iloczyn-
em pracochłonności przy normalnej wielkości serii
pomnożonej przez współczynnik wielkości serii K_s .
Współczynnik wielkości serii K_s oblicza się ze wzoru:

$$K_s = \frac{T_s}{T_{sN}}$$

gdzie:

T_s – pracochłonność przy danej serii,

T_{sN} – pracochłonność przy normalnej wielkości
serii np. dla konstrukcji stalowych za normalną wiel-
kość serii przyjmuje się 10-12 sztuk.

Wskaźniki technologiczności są również parame-
trami wpływającymi na pracochłonność, koszt i
czasochłonność prefabrykacji i montażu konstruk-
cji. Przykładowo, ilość spoin wyrażona masą spoiwa
na 1 tonę konstrukcji określa pracochłonność robót
spawalniczych. W dużych spawalniach istnieją takie
wskaźniki opracowane w sposób statystyczny.

Stopień mechanizacji prac spawalniczych

Stopień ten charakteryzuje w istotny sposób techno-
logiczność konstrukcji spawanych. Możliwe są różne
podejścia do jego wyznaczania, ale polecanym jest
wskaźnik mechanizacji obliczany wg metody opraco-
wanej w Instytucie Spawalnictwa im. E.O. Patona wg
wzoru:

$$S_M = \frac{K_M T_M}{T_{mn} + K_M T_m} \cdot 100\%$$

gdzie:

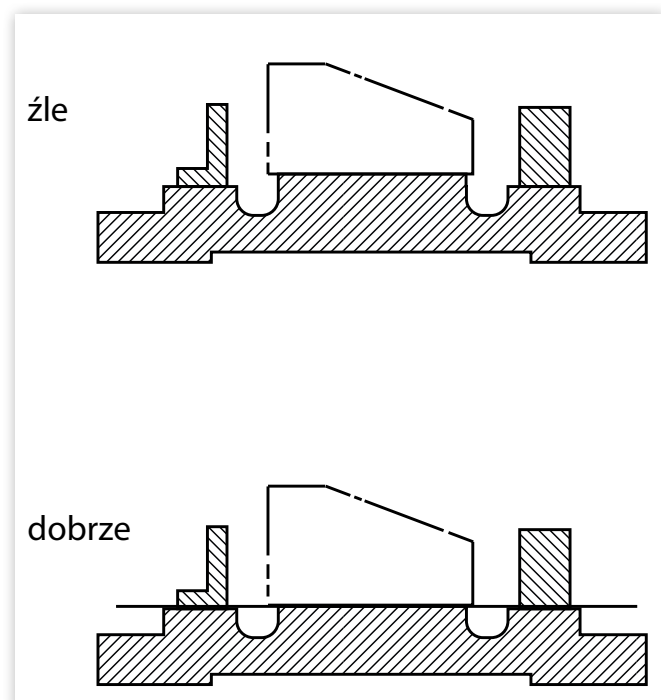
T_M – pracochłonność robót spawalniczych zmecha-
nizowanych,

T_{mn} – pracochłonność robót spawalniczych niezme-
chanizowanych,

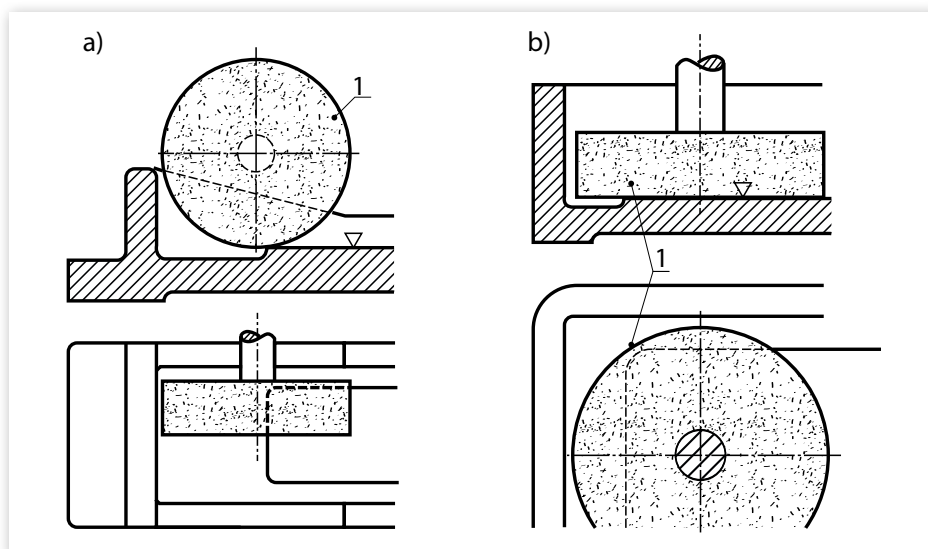
K_M – współczynnik określający stosunek praco-
chłonności spawania zmechanizowanego do praco-
chłonności spawania łukowego ręcznego. Dla spa-
wania automatycznego łukiem krytym wartości K_M
wynoszą: 3,0 – przy parametrach normalnych, 5,0
– przy parametrach maksymalnych; dla spawania
półautomatycznego łukiem krytym: 1,5 – bez osłony
gazu ochronnego, 2,0 – w osłonie gazu ochronnego;
4,0 – dla spawania żuźlowego; 3,5 – dla zgrzewania
elektrycznego.

W tym skróconym opisie obliczania i wyznaczania
technologiczności konstrukcji, który nie wyczerpuje
zagadnienia, zasygnalizowano jedynie problem, który
nie powinien być w żadnym przypadku lekceważony.
Jeżeli mówi się o niskich kosztach produkcji i szuka-
niu oszczędności, to należy znać sposoby ich obniżania,
a przynajmniej zdawać sobie sprawę jakich użyć
działań dla ich zmniejszenia. Podobne analizy wyko-
nuje się dla innych materiałów i technologii wykona-
nia korpusów.

Na rysunkach 11-14 przedstawiono kilka przykła-
dów rozwiązań korpusów pod kątem możliwości wy-
konawczych.



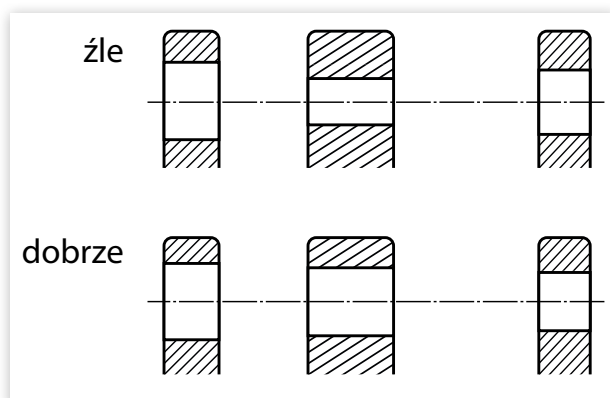
Rys. 11 Korpus o równoległych płaszczyznach obrabianych



Rys. 12 Miejsce na wybieg narzędzia

Pomiary korpusów

Pomiary korpusów, zwłaszcza obrabiarek, które cechują się dużą dokładnością, są trudne i pracochłonne. Można mierzyć je różnymi metodami, w zależności od wielkości korpusu i dysponowanych urządzeń pomiarowych. Mogą to być, dla małych korpusów: płyta pomiarowa i uniwersalne dokładne przyrządy pomiarowe, jak wysokościomierz, głębokościomierz, średnicówka itp. Jednak najkorzystniej jest pomierzyć korpus na stacjonarnej maszynie pomiarowej o dużej dokładności. Jest wiele rodzajów maszyn pomiarowych, od małych, stołowych, o wymiarach mierzonych np. 500 x 500 x 500 mm, poprzez kolumnowe, do szynowych portalowych, o możliwości pomiaru długości do 16000 mm (a nawet 36000 mm) z dużą dokładnością. Porównanie różnych rodzajów pomiarów, na różnych urządzeniach, przedstawiono w tabeli 3.

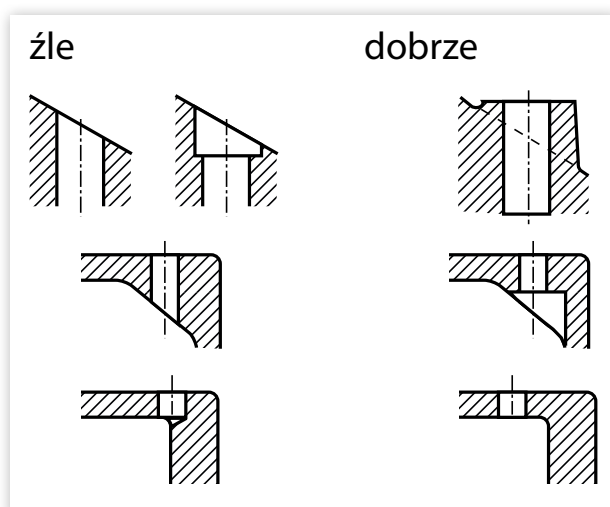


Rys. 13 Stopniowanie średnic otworów współosiowych w korpusie uchwytu

Dobrym rozwiązaniem jest też pomiar na obrabiarku typu wiertarko-frezarka, czy wytaczarka, często tej samej, na której był korpus obrabiany. Najczęściej obrabiarki takie mają na wyposażeniu specjalną sondę pomiarową i program do wykonywania dokładnych pomiarów. Duże lub bardzo duże korpusy mierzy się zależnie od wymaganej przez konstruktora dokładności, albo przy pomocy struny,

listwy pomiarowej – liniału, czy lasera i normalnych przymiarów, albo w przypadku większej dokładności przy pomocy teodolitu, także z elektronicznym zapisem pomiaru lub tachimetrem z systemem lusterek i folii pomiarowych czy też truckerem z odpowiednią sondą pomiarową. Rekomendowany jest też system pomiarowy z użyciem kamery lub kamer. Do przestrzennych pomiarów nieco mniej dokładnych korpusów można z powodzeniem stosować maszyny pomiarowe typu ramię pomiarowe. Ze względu na wymóg tworzenia wszelkiej dokumentacji w różnych fazach produkcji maszyn przeważają te metody pomiarowe, które umożliwiają wiarygodny sposób rejestracji pomiarów, najkorzystniej w postaci wydruku komputerowego.

Zagadnienie to jest obszerne i łączy się z takimi pojęciami: jak klasa dokładności przyrządów pomiarowych, niepewność pomiarowa, legalizacja sprzętu i aparatury pomiarowej i in. Dokonywanie pomiarów wymaga odpowiedniego przygotowania merytorycznego z zakresu metrologii, wiedzy z organizacji kontroli jakości, znajomości norm i przepisów dotyczących pomiarów. Ważne jest legalizowanie i wzorcowanie sprzętu i aparatury pomiarowej, co najmniej raz do roku, przez odpowiednie uprawnione laboratorium. Zgodnie z obowiązującymi przepisami, w bardzo dużym uproszczeniu, przyrządy pomiarowe do długości i kąta nie podlegają obowiązkowi ponownej legalizacji. Muszą mieć legalizację pierwotną w momencie



Rys. 14 Błędne i prawidłowe ukształtowanie wlotów i wylotów otworów obrabianych

zakupu. Jednak gdy producent maszyn wykorzystujący przyrządy pomiarowe, posiada ISO 9000:2008, to z tego tytułu powinien raz w roku lub po uszkodzeniu i naprawie sprzętu, przeprowadzić sprawdzenie i wzorcowanie wszystkich przyrządów pomiarowych w odpowiednim laboratorium i mieć odpowiednie potwierdzenia. Nawet jeśli nie ma ISO 9000, to wskazane byłoby wykonanie tych czynności. Dla niektórych przyrządów pomiarowych, zgodnie z odpowiednią ustawą jest obowiązek legalizacji pierwotnej i ponownej. Nie dotyczy to jednak przyrządów do pomiaru długości i kąta. Zagadnienie jest obszerne i warto sięgnąć do szerszego omówienia. Z pomiarami łączą się np. takie zagadnienia jak: pomiary bezpośrednie,

pośrednie, różnicowe, klasy dokładności przyrządów pomiarowych, zakresy pomiarów, tolerancje i pasowania, sprawdziany i przeciw sprawdziany, ustawiaiki i kontrustawiaki i wiele innych.

W tabeli 3 przedstawiono orientacyjne dokładności pomiarów dokonywanych przy pomocy różnych przyrządów pomiarowych. To zagadnienie jest również skomplikowane, gdyż różni producenci w różny sposób określają dokładność urządzenia pomiarowego, która zależy od wielu czynników. Na dobrą sprawę należałoby, przy bardziej skomplikowanych pomiarach podawać metodykę pomiaru i opis przyrządów

Przyrząd pomiarowy	Dokładność pomiaru
Strunowy	1 – 2 mm
Przymiar, szczelinomierz, liniań krawędziowy	0,25 mm
Suwmiarka, wysokościomierz,	0,1 mm
Mikromierz, średnicówka mikrometryczna, głębokościomierz mikrometryczny	0,01 mm
Ramię pomiarowe	~ 0,05 mm
Maszyna pomiarowa stacjonarna (w zależności od zakresu)	0,01 – 0,05 mm

Tab. 3 Orientacyjne dokładności pomiarów dla różnych przyrządów pomiarowych

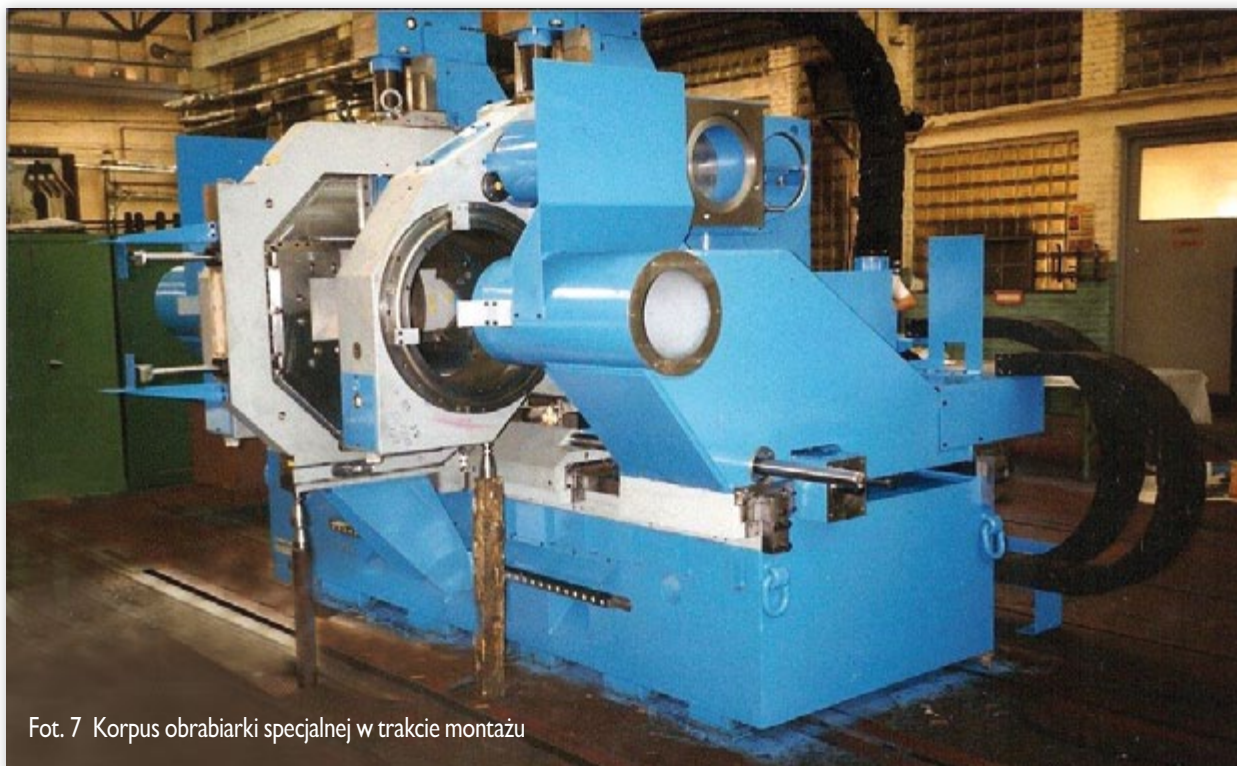
pomiarowych, bo pomiar wykonany przez innego kontrolera i innymi przyrządami może się niekiedy, nawet znacznie, różnić. Również skomplikowana metoda pomiaru bardzo złożonego np. poprzez kilka elementów, powinna być odpowiednio opracowana (przeliczona) i uśredniona, z podaniem algorytmu postępowania, a sam pomiar powinien być opisany i podany w odpowiednim protokole. Działania te mogą być niekiedy trudne i bardzo skomplikowane.

Naprawa korpusów

Korpusy ulegają uszkodzeniom w trakcie ich wykonywania, gdzie błąd ujawnia się podczas kontroli jakości lub w trakcie pracy maszyny, zwłaszcza gdy maszyna pracuje w ciężkich warunkach lub ze skrajnymi parametrami. Naprawianie korpusów spawanych, gdzie naprawa konieczna jest z powodu odkształceń spawalniczych podczas produkcji korpusu, można przeprowadzać



Fot. 6 Pomiar dużego korpusu przy pomocy przyrządu strunowego



Fot. 7 Korpus obrabiarki specjalnej w trakcie montażu

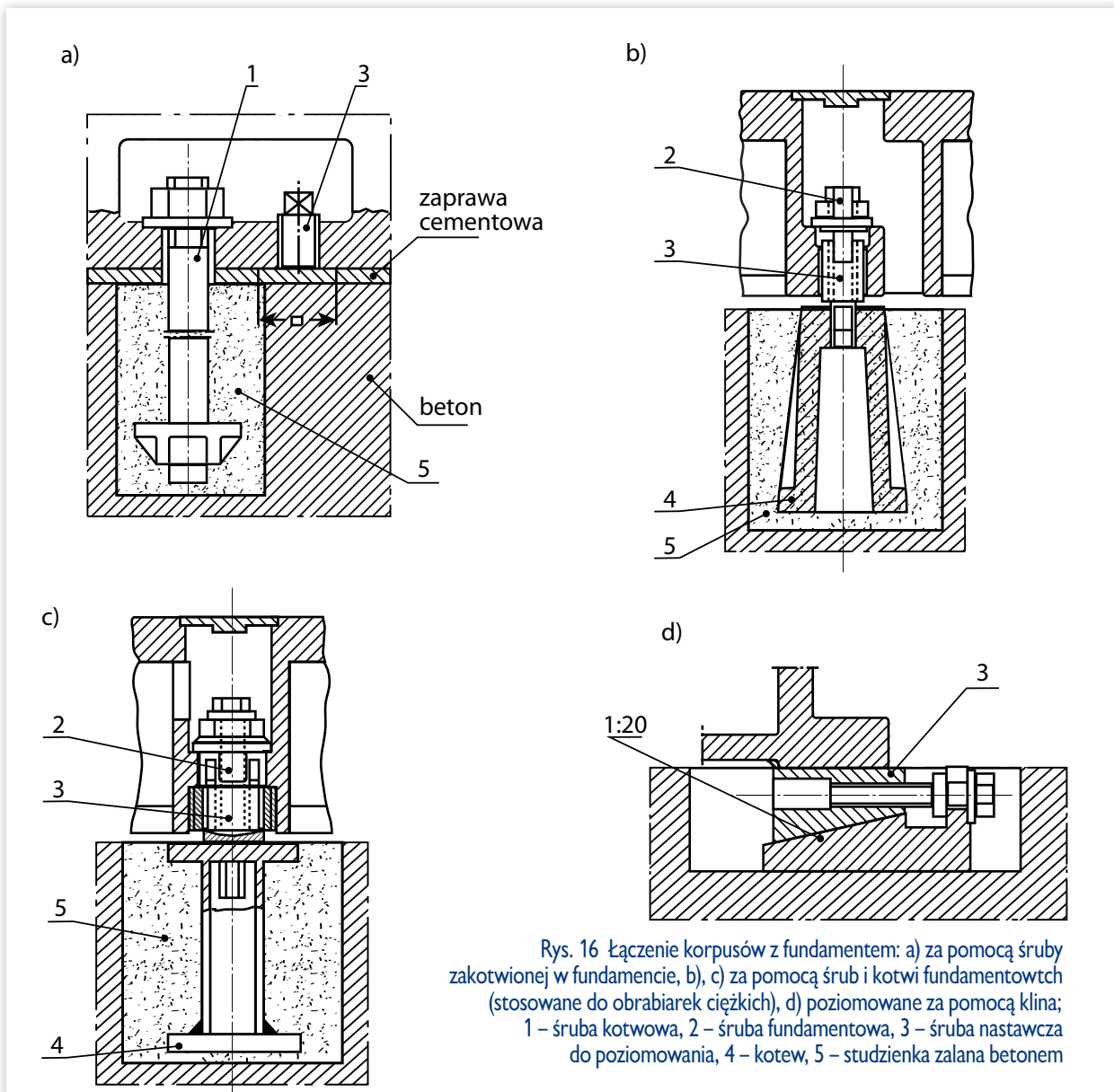
poprzez usuwanie odkształceń spawalniczych. Ostatnio zalecane jest usuwanie tych odkształceń metodą na zimno, gdyż nie wprowadza się miejscowych naprężeń i zmian struktury stali, jak przy usuwaniu odkształceń na gorąco, przy pomocy palnika lub bardziej wyrafinowanej techniki. Inne błędy w korpusach spawanych, np. wymiarowe, naprawia się przez dospawanie, napawanie lub szlifowanie nadmiaru. Trzeba tu też być ostrożnym we wprowadzaniu ciepła, zwłaszcza jeżeli korpus jest po operacji wyżarzania. Wówczas naprawy poprzez napawanie czy dospawanie są także możliwe, lecz trzeba je wykonywać ostrożnie i wolno, starając się wprowadzać jak najmniej ciepła. Prostowanie na zimno odbywa się na specjalnych prasach do prostowania, niekiedy na tzw. bokserkach, jeżeli dotyczy to korpusów typu belka.

Korpusy odlewane, które mają widoczne wady odlewnicze – a nie będą one wpływać na wytrzymałość i jakość – można naprawiać poprzez szlifowanie i np. napawanie, z tym, że proces spawania i napawania żeliwa wykonuje się wg specjalnej metody np. poprzez specjalne podgrzewanie miejsca spawania do temperatury 600-800 °C. Niekiedy są to operacje specjalnie przewidziane przez konstruktora np. wycięcie okna i późniejsze zaspawanie go w celu usunięcia masy rdzeniowej.

Przy dokładniejszych korpusach, gdzie obróbką skrawaniem wykonywane są otwory pod kołki, czy też pod łożyska, zdarza się niekiedy błąd wymiarowy – czy to położenia otworu, czy to błąd wykonania otworu ponad wymiar. Wtedy rozwiązaniem może być zaspawanie otworu i wykonanie go od nowa, ale należy pamiętać o wprowadzaniu temperatury. W fabrykach obrabiarek naprawia się takie błędy poprzez tzw. tulejowanie. Polega to na wytoczeniu ponad wymiar błędnego otworu, wykonaniu tulei o wymiarach i tolerancjach w pasowaniu włączanym lub wciskanim, wciśnięciu tulei w błędny otwór i zabezpieczeniu kołkiem lub wkrętem, na krawędzi połączenia z korpusem. Później wykonuje się właściwy otwór w tulei.

Połączenia korpusów z fundamentem

Na rysunku 16 pokazano kilka przykładów łączenia korpusów maszyn z fundamentem. Te kilka przykładów nie wyczerpuje oczywiście zagadnienia, mogą być różne inne rozwiązania. Od wielu już lat stosowane jest posadowienie wielu maszyn na wibroizolatorach. W przyrządach spawalniczych stacjonarnych stosuje się postawienie przyrządu wprost na równej, dobrej jakościowo posadźce, tylko niekiedy stosując poziomowanie i mocowanie na śruby kotwowe. Wcześniej maszyny wyposażano w śruby poziomujące i mocujące, i po wypoziomowaniu i zamocowaniu wykonywało się podlewkę z „chudego betonu” pod całą podstawą.



Rys. 16 Łączenie korpusów z fundamentem: a) za pomocą śruby zakotwionej w fundamencie, b), c) za pomocą śrub i kotwi fundamentowych (stosowane do obrabiarek ciężkich), d) poziomowane za pomocą klina; 1 – śruba kotwowa, 2 – śruba fundamentowa, 3 – śruba nastawcza do poziomowania, 4 – kotew, 5 – studzienka zalana betonem

Magnesowanie

Problem magnesowania lub raczej rozmagnesowywania korpusów nie dotyczy dużych korpusów, ale raczej małych lub najwyżej średnich. Takich, które podlegają obróbce szlifowaniem i są zamocowywane na szlifierkach przy pomocy stołu elektromagnetycznego. Zamocowanie elektromagnetyczne skutkuje tym, że w korpusie pozostaje szczątkowe namagnesowanie, które powoduje przyleganie drobnych wiórów do również obrabianych w dalszej części technologii powierzchni, co powodować może błędy kształtu i dokładności obrabianej później dokładnej powierzchni. Przeciwdziała się temu zjawisku w ten sposób, że przeprowadza się proces rozmagnesowywania korpusu. Wykonuje się to na specjalnym urządzeniu do rozmagnesowywania.

W przedstawionym cyklu artykułów siłą rzeczy zasygnalizowaliśmy tylko problemy występujące przy projektowaniu i wykonywaniu korpusów. Wiedza na ten temat jest ogromna i nasze opracowanie pokazuje jedynie pewne kierunki poszukiwań. Nowe tworzywa, a zwłaszcza tworzywa sztuczne, za sprawą modelowania 3D, dynamicznego rozwoju i upowszechniania drukarek 3D mogą przynieść radykalne zmiany w projektowaniu i wykonywaniu korpusów np. przy połączeniu tworzyw sztucznych z różnymi metalami, czy ceramiką. Jednak pewne wypracowane doświadczenia, jak typizacja i unifikacja, sposoby pomiaru i in. wydają się obecnie niezmiennie, a na pewno długo jeszcze będą podstawowymi działaniami w projektowaniu i budowie korpusów wszelkich maszyn i urządzeń technicznych.

Aleksander Łukomski