

Przyrządy dla zrobotyzowanego spawania

Przemysł motoryzacyjny to jedna z lokomotyw światowego rozwoju przemysłowego. Rozwój ten dotyczy bardzo wielu dziedzin techniki i jest najczęściej źródłem postępu w innych gałęziach i branżach przemysłowych. Obejmuje on takie dziedziny techniki jak np. metalurgia, technologia produkcji, automatyzacja, robotyka, konstrukcje mechaniczne i wiele innych. Ważną, choć słabo opisaną w literaturze technicznej, rolę w produkcji przemysłowej branży motoryzacyjnej odgrywają przyrządy dla zrobotyzowanych stanowisk, gniazd i linii technologicznych.

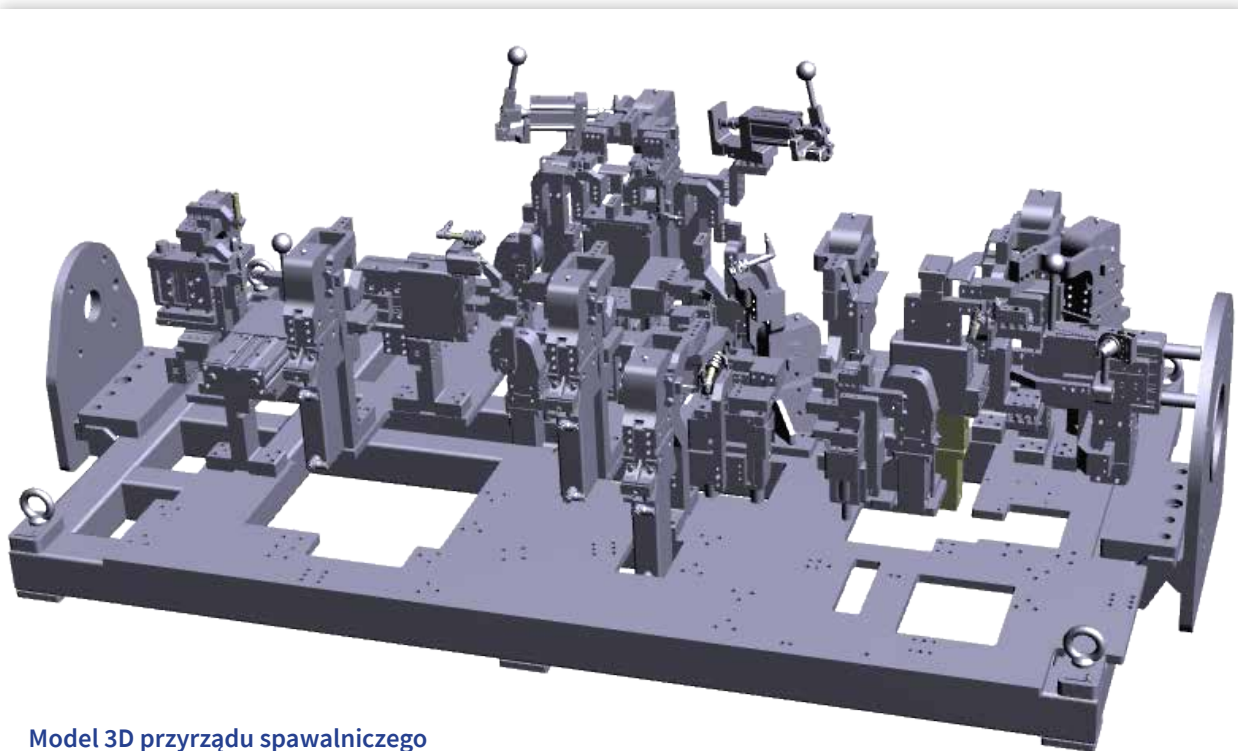
Aleksander Łukomski



Podstawy konstrukcji przyrządów obróbkowych zawarte w różnych publikacjach, np. w „Poradniku konstruktora” Tadeusza Dobrzańskiego, zawierają elementarną, choć dość trudną w przyswojeniu wiedzę na temat bazowania detali w przyrządach, ich ustalania i mocowania. Zawierają też podstawowe informacje do ustalania i mocowania przyrządów w obrabiarce i mnóstwo przykładów oraz analiz i obliczeń. Są bardzo przydatne w budowie wszelkich przyrządów. Ale w motoryzacji, zwłaszcza w przyrządach spawalniczych, występuje szereg dodatkowych problemów, niekiedy bardzo trudnych do rozwiązania przez konstruktora takiego oprzyrządowania. W przemyśle tym mamy do czynienia z wielką różnorodnością zespołów spawanych, od bardzo małych, typu wspornik, krótka belka, przez średnie, ale często niezwykle skomplikowane zespoły, jak np. ściana przednia kadłuba nadwozia, po duże, jak przyrząd główny montażowy kadłuba nadwozia. W autobusach (podobnie jak w pojazdach taboru szynowego) są to wielkie

przyrządy, niekiedy 30-metrowej długości, mające po kilkaset baz i docisków.

W konstruowaniu i budowie przyrządów spawalniczych dla spawania zrobotyzowanego występuje problem, który nie występuje przy konstrukcji innych przyrządów. Jeżeli poddajemy obróbce skrawaniem nawet skomplikowany korpus, to do jego ustalenia w osiach XYZ potrzeba np. sześciu elementów bazowych i w skrajnym uproszczeniu może tylko jednego docisku. Natomiast w przyrządzie spawalniczym musimy bazować i zamocować każdy element spawanego korpusu. Jest więc tych elementów bazowych i docisków w przyrządzie bardzo dużo, co poważnie utrudnia dojście palnikiem (zgrzewadłem) do wszystkich wymaganych miejsc spawania, a do tego jeszcze to spawanie powinno być wykonywane w najkorzystniejszym położeniu, w pozycji podolnej. Łatwo sobie wyobrazić trudności w projektowaniu takiego bardziej skomplikowanego przyrządu, dla zespołu składającego się z wielu detali. Mocowanie detali realizowane jest najczęściej sekwencyjnie, za pomocą doci-



Model 3D przyrządu spawalniczego dla stanowiska zrobotyzowanego. Na czołach ramy widoczne są elementy do mocowania przyrządu w pozycjonerze



Przyrządy do zgrzewania nadkola samochodu na stanowisku zrobotyzowanym

sków elektropneumatycznych, osobno dla każdego detalu.

Mimo że samochody produkuje się już ponad sto lat i wydaje się, że wszystko już w tej produkcji zostało opanowane, to okazuje się, że tak nie jest i pewnych błędów przy tej produkcji wciąż nie daje się uniknąć. W przyrządach spawalniczych występują błędy z różnych powodów i w większości nie występują one w innych przyrządach. Poniżej – krótko o rodzajach i powodach tych błędów.

Błędy technologa (który dzieli kompletne nadwozie na poszczególne mniejsze zespoły, aż do najmniejszych detali, i podejmuje decyzję o zastosowaniu mechanizacji, automatyzacji czy spawania zrobotyzowanego, ale najpierw o kolejności tłoczenia blach) są brzemienne w skutkach. Znanne są przypadki samochodów, które z powodu złej kolejności tłoczenia miały przesuniętą ścianę lewą w stosunku do prawej o 10 mm. Skutkowało to pę-

kaniem szyby przedniej. Tego błędu nie udało się skutecznie zlikwidować do końca produkcji tego modelu. Jeszcze poważniej wygląda ten problem w nadwoziach autobusów. Jest też wiele innych skutków pewnej niewiedzy technologa i konstruktora, choć czasem rzeczy te wynikają tylko z chęci oszczędności na technologii i oprzyrządowaniu.

Zdarzają się błędy konstrukcyjne w nadwoziu, które usunąć jest bardzo trudno, bo np. zostały już wykonane kosztowne przyrządy tłoczne, które wymagałyby zmian. W sytuacji kiedy samochód jest po badaniach i zatwierdzeniach, przy jakiegokolwiek zmianie w nadwoziu musiałaby być przeprowadzona nowa procedura zatwierdzenia, znacznie opóźniająca wdrożenie produkcji. Poprawienie tych błędów próbuje się przerzucić na technologa i konstruktora oprzyrządowania, dodatkowo utrudniając mu pracę. Poważnym błędem jest najczęściej oszczędzanie na techno-

logii produkcji poszczególnych detali zespołu spawanego. Cięcie prostych detali dokonywane jest często na piłach lub gilotynach nie zapewniających właściwych odchyłek, ani powtarzalności, co niekiedy skutkuje koniecznością dopasowywania tych detali podczas bazowania ich w przyrządzie, albo poszukiwania przez obsługującego przyrząd operatora optymalnego położenia dla np. równomiernych szczelin podczas spawania.

Nawet jeżeli detale są wykonywane teoretycznie dość dokładną obróbką plastyczną – tłoczeniem, to także powstają błędy wynikające z tej technologii. W tłocznictwie cienkich blach, zwłaszcza karoseryjnych, stosuje się głównie operacje wytłaczania, których celem jest przekształcanie płaskich kawałków blachy w wytłoczki.

W kształtowaniu tych wytłoczek proces tłoczenia dzieli się na dwie operacje:

- operacje ciągnięcia, służące do nadania zasadniczego kształtu wytłoczce tj. wytłaczanie, przetłaczanie, dotłaczanie;
- operacje wykańczające np. okrawanie, wywijanie.

Operacje te mogą mieć wiele zabiegów technologicznych i wykonywane są w liniach pras karoseryjnych.

W trakcie tłoczenia wytłoczki występują różne naprężenia i w wyniku działania tych naprężeń w wytłoczce powstają odkształcenia. W trakcie ciągnięcia detalu typu miska, w kołnierzu wytłoczki powstają odkształcenia:

- w kierunku promieniowym,
- w kierunku stycznym,
- w kierunku pionowym – po grubości.

Odkształcenia podczas tych operacji przybierają różną formę np. wydłużenie lub pocienienie blachy, a w innych miejscach jej pogrubienie. Wynikają one z naprężeń rozciągających, ściskających, obwodowych itp. W pobliżu dna wytłoczki może wystąpić pocienienie ścianki do 20%, a przy brzegu – pogrubienie do 30%. Wytłoczki niecylicydryczne mają podobne odkształcenia.

W tej technologii pojawia się również jeszcze inne odkształcenie. Po zakończonym gięciu, a niekiedy też tłoczeniu, odkształcenia sprężyste powodują niezamierzoną zmianę kształtu giętego elementu. Zjawisko to nazywane jest sprężynowaniem lub powrotnym odkształceniem sprężystym. Sprężynowanie to zależy od wielu czynników: od właściwości mechanicznych giętego materiału, rodzaju materiału jego umocnienia, stopnia odkształcenia, wewnętrznego promienia gięcia (w zależności od grubości materiału, kąta gięcia, kształtu wyrobu, sposobu gięcia i siły dognięcia). Może też zależeć od każdego kolejnego wytopu stali i jej walcowania.

W blachach nadwoziowych, zwłaszcza poszyciowych, występuje problem wiotkości wytłoczki np. ściany bocznej, dachu lub drzwi. Dopiero pousztywnieniu jej (wspawaniu lub zgrzaniu w przyrządzie) np. ścianą wewnętrzną, uzyskuje ona właściwą sztywność. Najpierw jednak należy tę wiotką blachę ustalić w odpowiednich bazach w przyrządzie i zamocować, co bywa trudne, a dotyczy nadania ostatecznego kształtu wg odpowiedniej krzywokreślnej oraz właściwych wymiarów w małej tolerancji. Niekiedy nie można przewidzieć i usunąć wszystkich błędów obróbki plastycznej. Podejmuje się wtedy decyzję o dopuszczeniu do produkcji blach z pewnymi błędami, zwłaszcza gdy są to blachy wewnętrzne usztywniające. Wykonuje się skanowanie wytłoczki i skorygowane rzeczywiste wymiary przyjmuje się do produkcji. Jednak powoduje to dodatkowe utrudnienia dla konstruktora przyrządu.

Podczas spawania, także za pomocą robota, występują skurcze spawalnicze, które powodują niezwykle uciążliwe trudności dla konstruktora przyrządu (problem ten opisywaliśmy obszernie w jednym z wcześniejszych numerów naszego czasopisma). Odkształcenie to powoduje utratę wymiarów i różne zwichrowania zespołu spawanego, ale też może spowodować zakleszczanie spawanego zespołu



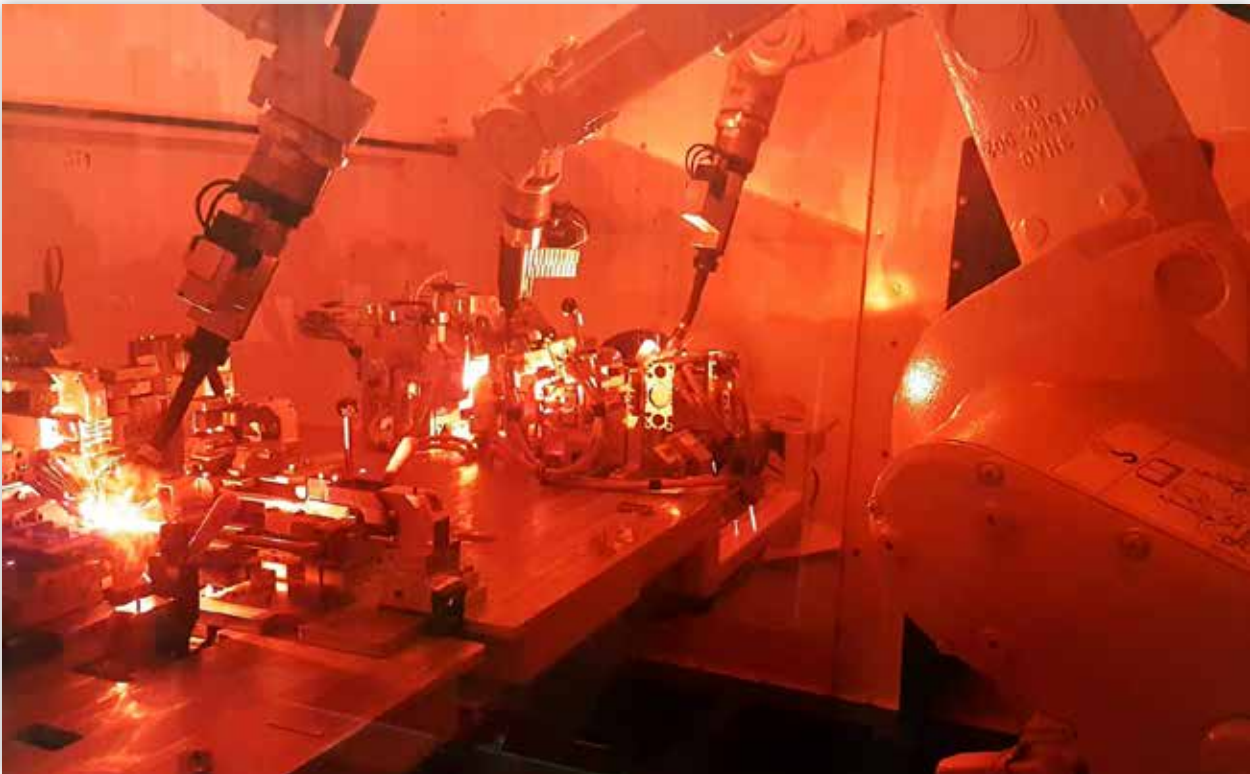
Rozbudowany przyrząd do zgrzewania dla stanowiska zrobotyzowanego

w przyrządzie, a w skrajnym przypadku może nawet zniszczyć przyrząd, gdy skurcze w okolicy spoin powodują duże naprężenia, niszcząc np. bazy przyrządu. Aby temu przeciwdziałać należy ograniczyć technologicznie skurcze spawalnicze do minimum i zastosować pewne wypróbowane metody konstruowania przyrządu, np. jednokierunkowość bazi docisków, tak aby podczas wyjmowania z przyrządu zespołu pospawanego „odchodził” on od baz. Mechanizm powstawania skurczów przebiega w ten sposób, że najpierw podczas nagrzewania spawane elementy rozszerzają się, a potem, podczas stygnięcia kurczą się. Procentowo odkształcenia dzieli się mniej więcej w 20% na rozszerzanie, a w 80% na kurczenie. Przyrząd musi umożliwiać te odkształcenia. Problem ten w zasadzie nie występuje przy zgrzewaniu punktowym, chyba że jest to długi zespół zgrzewany z dużą liczbą zgrzein.

Decyzję o rozwiązaniach konstrukcyjnych przyrządu podejmuje konstruktor. Jednak musi on uwzględnić pewne wytyczne technologiczne, związane z taktem, a więc czasem operacji. Ważne

jest tutaj to, ile czasu ma operator na bazowanie i mocowanie detali zespołu spawanego. Czynności te powinny zająć mniej czasu niż działanie robota, ze względu na jego jak najbardziej maksymalne wykorzystanie. Mocowanie wykonywane ręcznie za pomocą docisków ręcznych zajmuje znacznie więcej czasu niż wykonanie tej czynności przy pomocy docisków elektropneumatycznych. Najczęściej konieczne jest zwrotne potwierdzenie zamocowania docisków. Ręcznie zaciskane dociski renomowanych firm też mają taką możliwość.

Inną ważną informacją od technologa jest wymagana dokładność zespołu spawanego, a więc dokładność bazowania oraz informacje dotyczące odkształceń spawalniczych, czy obróbki plastycznej lub obróbki skrawaniem detali zespołu spawanego, a wchodzących do przyrządu. Istotne są także naddatki na ewentualne skurcze spawalnicze. W ich przypadku należy wykonać nowy rysunek technologiczny zespołu spawanego powiększony o te naddatki. Niekiedy, gdy takich danych brakuje, ustalenia technologiczne musi wykonać sam konstruktor przyrządu.

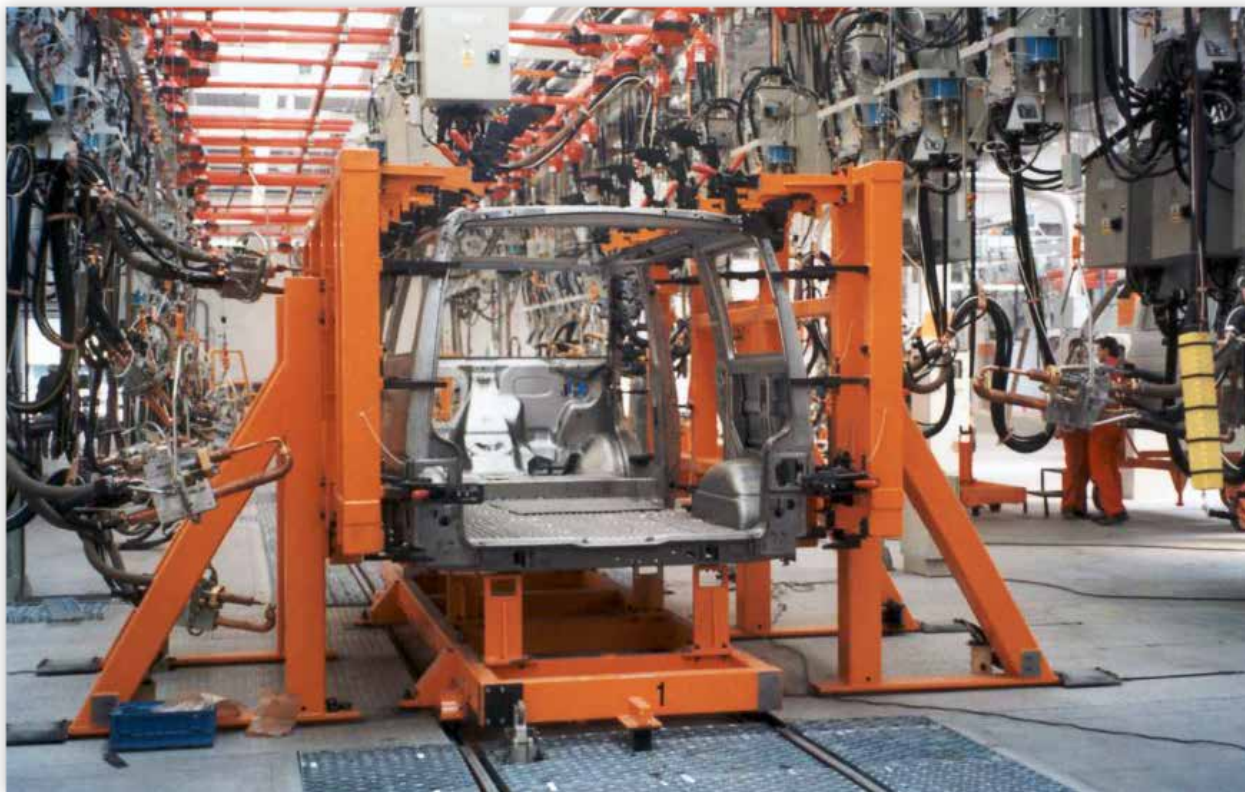


Przyrządy spawalnicze wykorzystywane podczas spawania robotami

Podstawowy czas operacji spawania wynika z długości spoiny (sumy długości spoin) i możliwej szybkości spawania dla tych spoin, lub liczby zgrzein, gdy jest to operacja zgrzewania. Do tego dochodzą różne czasy pomocnicze, dobiegi, czas przemieszczania palnika w kiści robota i różne czasy związane z pracą innych urządzeń. Operacje spawania można podzielić pomiędzy dwa roboty lub dwa stanowiska. Często w jednym stanowisku wykonuje się spoiny szepne (montażowe), a w innym stanowisku zrobotyzowanym – spoiny pełne. Niekiedy jest to podzielone na wiele stanowisk zgrupowanych w gnieździe technologicznym lub linii technologicznej. Tego typu wytyczne i ustalenia z technologiem determinują rozwiązania konstrukcyjne przyrządu. Inaczej zbudowany jest przyrząd do uzyskania geometrii, a inaczej przyrząd tylko do wypawania, gdy zespół spawany jest już zmontowany spoinami szepnymi.

Budowa przyrządu zależy od wielu czynników, przede wszystkim od jego wielkości. Podstawa przyrządu to – w mniejszych i średnich przyrządach – usztywniona płyta, wyżarzona i dokładnie

obrobiona po spawaniu. Wyżarzanie odprężające po spawaniu dotyczy wszystkich spawanych zespołów przyrządu. Od podstawy odnosi się elementy bazujące w osi Z. Często w tym celu tworzy się w modelu 3D wirtualną płaszczyzną, która może być pomocna w wymiarowaniu tych baz. Przestrzeń pomiędzy płytą a bazą musi umożliwiać operowanie zgrzewadłem (ale należy też wziąć pod uwagę ergonomię). Ten wymiar powinien wynosić około 350-500 mm, niekiedy więcej. Potem, korzystając z ustalonego punktu odniesienia na płycie (może to być otwór technologiczny np. $\varnothing 20$ H7 lub specjalne znaczniki przykręcone do podstawy), wyznacza się bazy w osiach X oraz Y. Następnie dodaje się dociski. Mogą one być uruchamiane ręcznie, choć najczęściej stosuje się dociski uruchamiane elektro-pneumatycznie. Są to rozbudowane i dopracowane konstrukcyjnie zespoły docisków kolanowych, gdzie dopiero 6 mm od powierzchni docisku uruchamiane są z pełną siłą. Przed dojściem do 6 mm siła jest minimalna aby nie dopuścić do zgniecenia ręki operatora. Na rynku dostępna jest wielka liczba różnych docisków, które w zasadzie zapew-



Przyrząd przestrzenny (konduktor) do zgrzewania geometrycznego kadłuba furgonu dla mniejszej serii produkcyjnej

niają docisk w najrozmaitszych pozycjach mocowania. Napędzane mogą być ręcznie lub ręcznie i w ostatniej fazie docisku pneumatycznie, także pneumatycznie, jak również elektromechanicznie. Końcówki tych docisków wyposaża się często w elementy kształtowe, wynikające z kształtu elementu dociskanego. Po pewnym zamocowaniu docisku uruchamia się odpowiednia dioda, zabudowana w docisku, potwierdzająca zamocowanie. Przekazywany jest też sygnał do sterowania stanowiskiem. Trudnym elementem są wsporniki łączące podstawę z zespołem baz i docisków. Korzystając z programów komputerowych łatwiej wyznaczyć ich kształt i wymiary oraz zapewnić przestrzennie dostęp zgrzewadłem lub palnikiem do miejsca spawania.

Jeszcze trudniejszym problemem są większe przyrządy, np. do zapewnienia geometrycznego ustalenia kadłuba nadwozia (niekiedy zwane konduktorami). Są to przyrządy przestrzenne, które składają się z większej podstawy, do której zamontowane są odchylne zespoły mocujące ściany. W środku

umieszczony jest na podstawie przyrząd ustalający i mocujący podłogę kadłuba nadwozia. Po wstawieniu ścian i zamocowaniu ich w zespołach odchylanych, dosuwają się one do baz przyrządu i są w tej pozycji zaryglowane. Od góry zakładany jest albo dach albo tylko jego wsporniki. Niekiedy stosuje się trochę inną pracę takiej tzw. stacji geo, gdy na stanowisku wcześniejszym składa się kadłub nadwozia i wstępnie mocuje klipsami, a potem wprowadza się taki wstępnie zmontowany kadłub do stacji i mocuje podobnie jak to opisano wyżej. Przy mniejszych seriach, gdy mamy dłuższe takty, np. 10 min., pracownicy wnoszą do przyrządu ściany boczne i ręcznie mocują je na odchylanych zespołach przyrządu. Przyrządy te są bardzo trudne w budowie i wymagają dużej wiedzy z różnych dziedzin techniki.

W przyrządach zabudowuje się dodatkowo różne elementy konstrukcyjne, jak np. prowadnice zgrzewadeł, zwłaszcza w przyrządach, gdzie odbywa się zgrzewanie od spodu i miejsca zgrzewania są zasłonięte. Prowadnice po-

magają doprowadzić zgrzewadło do miejsca zgrzewania w miarę pewnie. Niekiedy w przyrządach zabudowuje się automatyczne zgrzewarki, w miejscach, do których trudno jest dojść zgrzewadłem. Czasem są to bardziej skomplikowane zespoły, z kilkoma zgrzewarkami lub zgrzewarką przesuwaną automatycznie liniowo i wykonującą kilka zgrzein w trakcie taktu, podczas gdy operator lub robot wykonują inne zgrzeiny lub spoiny. Często zabudowuje się też zgrzewarki jednostronne. Niekiedy przy zgrzeinach na blachach poszyciowych stosuje się elektrody pośrednie miedziane większych rozmiarów i poprzez nie zgrzewa się blachę poszyciową z wewnętrzną, aby uniknąć śladów zgrzewania na blasze poszyciowej np. drzwi. Elektrody te tworzą nieraz swoistą klawiaturę, gdy rozmieszczone są wg krzywokreślnej drzwi i zamontowane są w przyrządzie zawiasowo. Dużym utrudnieniem w konstrukcji przyrządów spawalniczych są ssawki odciągu dymów spawalniczych, które muszą być umieszczone blisko spawania, czy zgrzewania, ale blokują dostęp zgrzewadła czy palnika.

Przyrządy spawalnicze wymagają na ogół dużych dokładności ustawienia baz, często w setnych częściach milimetra. Wymaga to wąskich tolerancji wykonania poszczególnych i ważnych elementów przyrządu. Jednak ostateczne wymiary osiągnąć się podczas pomiaru zmontowanego przyrządu. W tym celu używa się dokładnych urządzeń pomiarowych do zespołów przestrzennych, jak np. ramiona pomiarowe, maszyny pomiarowe, czy trackery laserowe. Podczas tych pomiarów stosuje się pakiety podkładek o różnych grubościach, pod bazy, tzw. simsy, którymi ostatecznie ustala się wymiar położenia baz z dużą dokładnością.

W tym celu bazy nie mogą być powiązane ze wspornikami lub innymi elementami przyrządu na stałe, tylko za pomocą śrub i kołków lub odpowiednio obrobionych powierzchni. Bazy w zasadzie wykonuje się w stanie hartowanym lub co najmniej ulepszonym. Powinny one mieć określoną twardość, aby zapobiec zbyt szybkiemu

zużyciu powierzchni bazowej, zwłaszcza gdy występują ostre krawędzie detali bazowanych.

Niektóre koncerny samochodowe, ale i firmy inżynierskie budujące zrobotyzowane stanowiska spawalnicze, stosują w konstruowaniu i budowie przyrządów skatalogowane, zunifikowane elementy przyrządów, których stosowanie znacznie przyspiesza budowę przyrządów i co ważne, eliminuje wiele błędów wymiarowych, niezwykle kłopotliwych przy ich usuwaniu.

Jak we wszystkich przyrządach i tu istotne jest ustalenie i zamocowanie przyrządu w zrobotyzowanym stanowisku. Rzadko montuje się przyrząd na stałe, na podstawie lub wręcz na posadzce. Chyba że jest to gniazdo technologiczne lub linia. Niekiedy w prostszych stanowiskach jest to stół obrotowy o pionowej osi obrotu, nieraz wyposażony dodatkowo w pozycjonery o poziomej osi obrotu, które współpracują z robotem i ustawiają przyrząd z zespołem spawanym w najdogodniejszej pozycji spawania dla robota.

Przyrządy dla zrobotyzowanego spawania są trudne w konstruowaniu i budowie. Wymagają dużej wiedzy od konstruktora tych przyrządów z różnych dziedzin techniki, a także podejścia analitycznego oraz zdolności przewidywania następstw przyjętych rozwiązań. Konieczna jest tu też współpraca z technologiem i programistami sterowania.

Aleksander Łukomski

Fotografie (oprócz zdjęcia tytułowego) i rysunek pochodzą z archiwum firmy TASKOPROJEKT SA