

Krzysztof Kubicki

CIĘCIE I OBRÓBKA RUR LASEREM

Wprowadzenie

Dzięki urządzeniom numerycznym do cięcia i obróbki metalu można projektować i wykonywać konstrukcje stalowe, jakie wcześniej nie były możliwe do wytworzenia lub ich wykonanie było bardzo trudne, żmudne i czasochłonne, co w aspekcie ekonomicznym zazwyczaj wykluczało takie rozwiązania. Należą do nich m.in. konstrukcje z rur (zarówno okrągłych, jak i kwadratowych czy prostokątnych), dokładnie spasowanych w węzłach po linii przenikania przekrojów lub wręcz przechodzących przez siebie „na wylot”. Kluczowym problemem przy tego typu konstrukcjach jest wykonanie styków węzłowych lub przedłużających elementy. Skomplikowane kształty węzłów są możliwe do wykonania praktycznie tylko przy użyciu urządzeń laserowych.

1. Kształtowanie połączeń w konstrukcjach rurowych

Rury są coraz chętniej stosowane na elementy nośne w konstrukcjach stalowych, gdyż posiadają wiele zalet. Ich cechy geometryczne korzystnie wpływają na charakterystykę wytrzymałościową elementów konstrukcji, szczególnie poddanych ścisaniu lub skręcaniu, dzięki czemu można zredukować ciężar konstrukcji nawet o 50% w stosunku do tradycyjnych konstrukcji z przekrojów otwartych (dwuteowniki, kątowniki, ceowniki). Nie bez znaczenia jest też zmniejszenie pola powierzchni bocznej w stosunku do konstrukcji z profili otwartych, co ułatwia zabezpieczenie przed korozją i znacznie redukuje jego koszt. Szeroki asortyment rur (przy tych samych wymiarach zewnętrznych rury mogą mieć kilka grubości ścianek) pozwala na optymalne projektowanie bez uszczerbku dla estetyki, np. pozwala zachować gabaryty słupów różnych kondygnacji czy prętów kratownic bądź przekryć strukturalnych. Dla konstrukcji, w których głównym obciążeniem jest oddziaływanie wiatru, rury (zwłaszcza okrągłe) są korzystne pod względem aerodynamicznym.

Jednak brak powierzchni przylgowych oraz praktycznie brak dostępu do wnętrza rur utrudniają kształtowanie połączeń. Poza tym połączenia elementów rurowych są zazwyczaj bardziej podatne niż wykonane z profili otwartych i wymagają od projektanta umiejętności oceny bezpieczeństwa takich węzłów.

Problematyka konstrukcji wykonanych z rur i kształtowania połączeń między elementami rurowymi wraz z przykładami realizacji obiektów i obliczeń została obszernie omówiona w książce J. Bródki i M. Broniewicza [1].

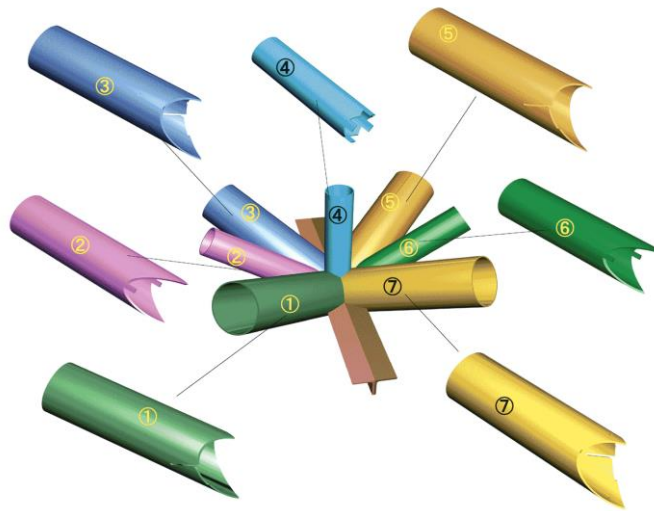
Istnieje wiele systemów węzłów i styków elementów rurowych, często objętych patentami, które przez specjalne ukształtowanie pozwalają wytwarzać je, wykorzystując częściową automatyzację procesu. Pozwala to na przyspieszenie wykonania elementów i montażu konstrukcji, co prowadzi do obniżenia kosztów. Najczęściej jednak takie systemy są dedykowane do specjalnych typów konstrukcji, np. masztów czy przekryć strukturalnych, a w budownictwie powszechnym potrzebne są rozwiązania bardziej uniwersalne. Dostosowanie rozwiązań klasycznych do połączeń rurowych często pociąga za sobą wzrost masy konstrukcji (dodatkowe przepony, żebra, stolki, blachy czołowe, blachy węzłowe, przekładki) i wydłużenie czasu wytworzenia (dopasowanie elementów łącznych do profilu, odpowiednie przygotowanie spawanych detali i sam proces spawania). Połączenia bez blach węzłowych wymagają często cięcia po linii przenikania profili lub, w przypadku węzłów ze spłaszczonych prętów skratowania, dodatkowej obróbki cieplnej (nagrzewania), spłaszczania i cięcia po okręgu albo spłaszczania niepełnego.

Poszukiwania lepszych rozwiązań, zarówno pod względem technologicznym, ekonomicznym, jak i estetycznym, były blokowane brakiem możliwości wykonania skomplikowanych węzłów łączących elementy z rur lub bardzo dużymi utrudnieniami natury technicznej.

Węzeł opracowany i opatentowany przez firmę Mazak Optonics (rys. rys. 1 i 2) był niemożliwy do wykonania przy użyciu tradycyjnych metod. Dopiero zastosowanie urządzeń laserowych do cięcia rur pozwoliło na kształtowanie tego typu połączeń.

Węzeł ten jest tak zaprojektowany, że mógłby „obyć się” bez spoin, stanowiąc samonośny układ przestrzenny. Widoczne zestawy kątowników stanowią dolny pas kratownicy i są elementem ciągłym, przenikającym przez schodzące się w tym węźle rurowe pręty wykratowania, łączące się między sobą systemem wcięć i wypustów. Taki system ułatwia i znacznie przyspiesza etap scalania konstrukcji i wykonywania spoin.

Stelaż do scalania konstrukcji, widoczny we fragmencie na rysunku 2, jest automatycznie rozkrawany z jednego arkusza blachy na urządzeniach laserowych do cięcia elementów płaskich z minimalną ilością odpadów i scalany bez żadnych łączników czy spoin. Dzięki temu można go wykorzystywać wielokrotnie i łatwo transportować w stanie złożonym.



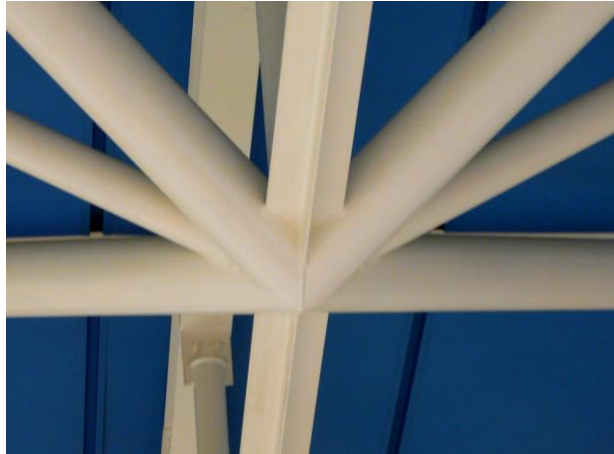
Rys. 1. Węzeł kratownicy przestrzennej - ideogram [2]



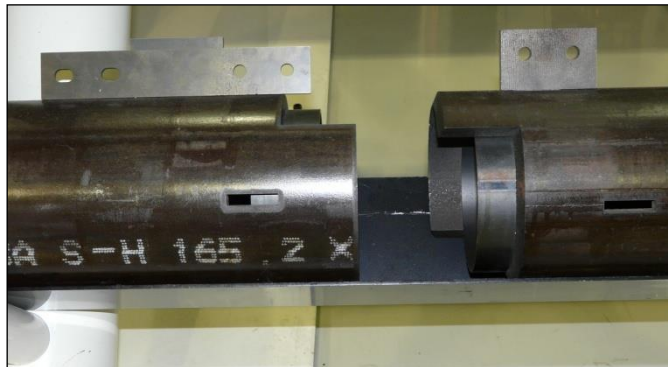
Rys. 2. Węzeł kratownicy przestrzennej przed zespawaniem, zawieszony nad stelażem do scalania (fotografia autora)

Po raz pierwszy tego typu węzeł zastosowano w Mazak World Technology Center w Minokamo (Japonia) przy wznoszeniu siedziby tego producenta urządzeń do cięcia laserowego (rys. 3). Elementami nośnymi przekrycia hali są kratownice przestrzenne, w których większość prętów wykonana jest z rur o przekroju kołowym. Dzięki temu cała struktura nośna obiektu sprawia wrażenie lekkości, a konstrukcja sama w sobie jest estetyczna.

Węzły i połączenia spawane wykonywane na budowie powinny być tak zaprojektowane, aby w łatwy sposób można je było dopasować i ustabilizować przed spawaniem. Dzięki technice laserowej można kształtować gniazda i wpusty łączące wstępnie elementy spawane. Przykładem takiego złącza montażowego jest styk rury przedstawiony na rysunkach 4a i b.



Rys. 3. Węzeł kratownicy przestrzennej wbudowany w konstrukcję Mazak World Technology Center, Minokamo (Japonia) (fotografia autora)



Rys. 4a. Styk rury - etap przygotowania (fotografia autora)



Rys. 4b. Styk rury - etap montażowy (fotografia autora)

Po zespawaniu i kontroli spoiny nakładki łączące wstępnie obie części można zdemontować, a pozostałe wystające elementy odciąć.

Precyzyjne przygotowanie takich węzłów i styków jest możliwe właściwie tylko za pomocą urządzeń laserowych do cięcia i obróbki rur.

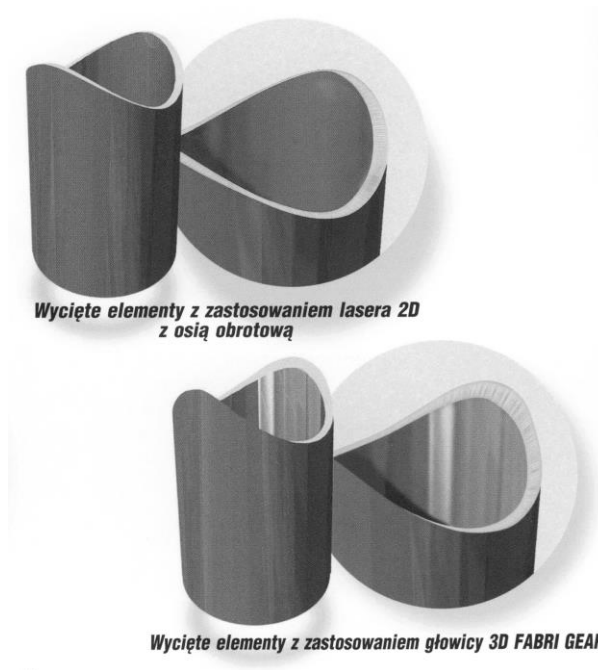
2. Urządzenia laserowe do kształtowania połączeń rur

Do niedawna cięcie rur o przekroju kołowym odbywało się wyłącznie palnikiem po linii wytrasowanej zgodnie z linią przenikania łączonych elementów za pomocą szablonu albo specjalnych urządzeń do cięcia według krzywych przestrzennych. Brak takiego urządzenia powodował wzrost kosztów wytworzenia, co przy wyższych cenach rur czynił konstrukcję nieekonomiczną. Tak przycięte rury wymagały prawie zawsze dodatkowych operacji przygotowujących do spawania (pasowanie, ukosowanie, frezowanie).

Wprowadzenie urządzeń laserowych do cięcia elementów pozwoliło na znaczne przyspieszenie cięcia rur (a także innych profili) przy bardzo dużej dokładności. Na rynku pojawiły się urządzenia różnych producentów, m.in. Trumpf Werkzeugmaschinen, Yamazaki Mazak Optonics, Bystronic, Tube Tech Machinery, Reis Robotics, Bystronic, Weil Engineering czy BLM Group. Proces obróbki jest sterowany komputerowo, dzięki czemu można dobrać właściwe parametry, uzyskać wymaganą precyzję przy niemożliwej do uzyskania klasycznymi metodami prędkości, zapewnić powtarzalność wykonania elementów czy zautomatyzować produkcję. Dodatkowy osprzęt pozwala na pełną automatyzację od momentu dostarczenia profilu do podajnika aż do odebrania gotowego elementu z miejsca składowania. Obróbka nie ogranicza się tylko do przecinania profili po linii przenikania, ale także do wycinania w nich otworów dowolnego kształtu, kształtowania zamków pozwalających na wstępne, precyzyjne szczepienie łączonych później elementów bez konieczności stosowania przed właściwym spawaniem tzw. spoin szczepnych. Niektóre urządzenia, np. *3D Fabri Gear 150/300* firmy Mazak, umożliwiają gwintowanie wyciętych uprzednio otworów dzięki wbudowanej głowicy z zestawem gwintowników.

Cięcie laserem metalu polega na jego stopieniu w skupionej wiązce światła. Wydzielanie się dużej ilości ciepła w czasie spalania metalu powoduje zazwyczaj utwardzenie krawędzi znajdujących się w obszarze oddziaływania wysokiej temperatury. Obszar ten jest jednak znacznie węższy niż w przypadku cięcia z wykorzystaniem palników. Jeżeli jest wymagana dalsza obróbka mechaniczna tych krawędzi (np. frezowanie, szlifowanie, formowanie), zjawisko to jest niekorzystne. Dlatego zastosowanie ruchomej głowicy 3D m.in. w urządzeniach *3D Fabri Gear 150/300* firmy Mazak czy w *LT823D* z BLM Group, pozwalającej odpowiednio ukosować krawędzie, przekształca ten efekt z niekorzystnego na pożądany. Dzięki temu dopasowanie do krzywizny łączonych elementów jest wręcz idealne, a przygotowane do spawania krawędzie nie wymagają dalszych zabiegów. Różnicę

w przygotowaniu krawędzi przy użyciu głowicy 2D z osią obrotową i 3D przedstawiono na rysunku 5.



Rys. 5. Przykłady kształtowania krawędzi z zastosowaniem głowic 2D i 3D [3]

Urządzenia te ze względu na swoje gabaryty wymagają jednak sporo miejsca do pracy. Długość elementów obrabianych (rur, kształtowników) determinuje rozmiary tych maszyn. Przykładowo maszyny *3D Fabri Gear 150/300* wymagają dla wersji standardowych powierzchni o wymiarach odpowiednio 20,73 x 3,72 m / 20,90 x 4,58 m. W tabeli 1 podano dla przykładowych urządzeń długości maksymalne rur obrabianych i elementów finalnych niekiedy w dwóch wariantach. Faktyczna maksymalna długość zależy od wersji danego urządzenia lub od sposobu odbioru gotowych elementów, tzn. czy odbywa się automatycznie (stacja odbiorcza) czy ręcznie. Z uwagi na precyzję tych urządzeń pomieszczenia, media (gazy, zasilanie) oraz jakość ciętych i obrabianych materiałów muszą spełniać warunki podane w specyfikacji producenta.

Parametry wybranych urządzeń do laserowego cięcia rur przedstawia tabela 1 (dla zorientowania się w ich możliwościach).

Również w Polsce pracują urządzenia do laserowego cięcia i obróbki zarówno 2D, jak i 3D. Od inwencji twórczej projektantów zależy wykorzystanie możliwości takich urządzeń, czego przykładem mogą być ciekawostki przedstawione na rysunku 6, a wykonane w kilka minut na urządzeniu *3D Fabri Gear 300* firmy Mazak.

TABELA 1

Parametry urządzeń do laserowego cięcia rur [3-5]

| Firma | BLM GROUP | | TRUMPF Werkzeugmaschinen | | Yamazaki Mazak Optonics Corporation | |
|-----------------------------------|---------------------------------|----------------|----------------------------------------------|----------------------------------------------|----------------------------------------|----------------------|
| | Jumbo | LT8 | TruLaser Tube 5000 | TruLaser Tube 3000 | 3D Fabri Gear 150 | 3D Fabri Gear 300 |
| Max średnica zewnętrzna [mm] | φ 508 φ 400x400 φ 500x300 | φ 220 φ 200 | 150 | 150 | φ 152,4 φ 152,4 | φ 267,0 φ 203,2 |
| Max długość rury [mm] | | | 6500 | 6000 (9500) | 8000/ (15000) | 8000/ (15000) |
| Max długość finalna elementu [mm] | 18000 | 3500 (4500) | 3000 (6000) | 1500 | 8000 (15000) | 8000 (15000) |
| Max grubość ścianki [mm] | | 12 | 6,4 stal miękka 5,0 stal nierdzewna | 6,4 stal miękka 5,0 stal nierdzewna | 22 | 22 |



Rys. 6. Efekt pracy urządzenia 3D Fabri Gear 300 firmy Mazak (fotografia autora)

Maszyny do cięcia laserowego są wyposażane w coraz więcej automatycznych funkcji, począwszy od pobrania profilu z magazynu załadowczego i dostarczenia do stacji rozładowniczej, poprzez centrowanie uchwytów aż do wykrywania spawu wzdłużnego rur czy gwintowania otworów. Oprogramowanie CAD/CAM w niektórych urządzeniach (np. z serii *3D Fabri Gear*) nie wymaga symulacji na maszynach, co przyspiesza proces produkcyjny. Poza tym najnowsze urządzenia same diagnozują zużycie dysz lub całych głowic i z odpowiednim wyprzedzeniem informują operatora o koniecznym przeglądzie, konserwacji czy wymianie zużytych elementów urządzenia, aby nie dopuścić do sytuacji awaryjnych. Przestoje z po-

wodu awarii, nieplanowanej wymiany głowicy itp. są zazwyczaj bardzo kosztowne i mogą przerwać produkcję dodatkowo na czas dostawy części zamiennych, a nie tylko samej obsługi technicznej czy naprawy.

Podsumowanie

Zastosowanie techniki laserowej do cięcia i obróbki rur otwiera przed projektantami wręcz nieograniczone możliwości kształtowania połączeń elementów w konstrukcjach rurowych przy zapewnieniu wymagań technicznych i estetyki rozwiązań. Dokładność cięcia ułatwia pasowanie elementów i ich spawanie. Szybkość i powtarzalność operacji skracają proces wytworzenia konstrukcji, gwarantując przy tym wysoką jakość. Czas realizacji konstrukcji spawanych na budowie z elementów wytworzonych przy użyciu urządzeń laserowych skraca się o 30÷40% w porównaniu z tradycyjnie wykonanymi. Kolejną korzyścią jest obniżenie kosztów transportu. Elementy małowymiarowe mogą być dostarczane na budowę zwykłymi ciężarówkami. Elementy wielkowymiarowe scalane w wytwórni wymagają często użycia specjalistycznego sprzętu transportowego i organizowania tras umożliwiających bezkolizyjny przejazd. W przypadku budów w gęsto zabudowanych centrach miast użycie takiego transportu jest często niemożliwe.

Literatura

- [1] Bródka J., Broniewicz M., Konstrukcje stalowe z rur, Arkady, Warszawa 2001.
- [2] http://www.industrial-lasers.com/articles/enlarge_image.html?siteId=ils&id=246377
- [3] Folder: 3D Fabri Gear 150 & 300, 2D/3D Laser Processing Machine, MAZAK
- [4] <http://www.blmgroupp.com>
- [5] Folder: TruLaser Tube: Optimal tube and profile cutting, ID no. 0372768-30-03-08-F, TRUMPF.

Streszczenie

W artykule przedstawiono urządzenia laserowe 3D do cięcia stalowych rur i kształtowników. Zamieszczono także przykłady połączeń rurowych węzła kratownicy i styku wzdłużnego rury. Zastosowanie urządzeń laserowych znacznie skraca czas potrzebny do montażu i spawania, ponieważ elementy są cięte z dużą szybkością i dokładnością.

Abstract

In the paper the 3D laser machines for long pipe and structural material are presented. Also examples of a special truss joint and a longitudinal tube joint are depicted. Since joints of the laser cutting components are cut at high speed and with great accuracy, the time required for assembly and welding is considerably reduced.