

Produkcja narzędzi skrawających metodami spawalniczymi do 1938 r. (z teki Jacka Lassocińskiego)

Tools for machining manufacturing with the use of welding methods before 1938 (from Jacek Lassocinski's portfolio)

Streszczenie

W artykule przedstawiono zagadnienia związane z wykonywaniem noży tokarskich na początku XX w. Omówiono zastosowanie metod metalurgicznych i spawalniczych do uzyskania odpowiedniej trwałości narzędzia przy najkorzystniejszych warunkach ekonomicznych procesu.

Abstract

The paper presents the issues of tools for machining manufacturing in the early twentieth century. Moreover, it describes the use of metallurgical and welding methods to achieve a longer tool life at the most favorable economic conditions of the process.

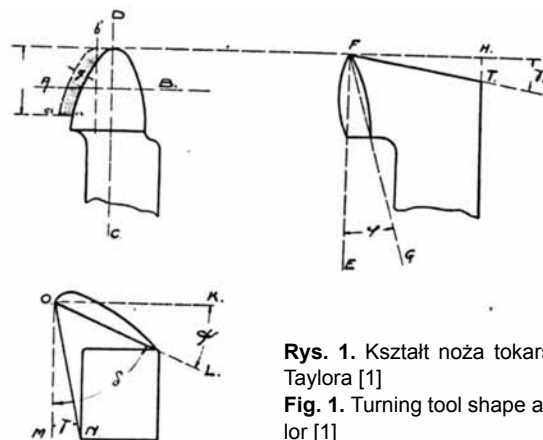
Wstęp

Spawanie na początku XX w., coraz powszechniej stosowane w przemyśle maszynowym, zaczęło wywierać znaczący wpływ na konstrukcję części maszyn oraz narzędzi do obróbki metali.

Narzędzia specjalne – wiertła, sprawdziany, frezy, noże tokarskie i strugarskie produkowano w specjalistycznych fabrykach, natomiast proste noże były wytwarzane przez tokarzy i strugaczy w narzędziowniach [1]. Rozwiązanie to było nieopłacalne, gdyż przestój maszyny spowodowany tym, że robotnik był zajęty wytwarzaniem narzędzia, kosztował 3 ruble/h, podczas gdy godzina pracy robotnika tylko 30 kopiejek [1].

Kształt noża – „rydła” został określony po długich, trwających 26 lat badaniach, prowadzonych w USA przez Taylora (rys. 1). Stwierdził on, że na sprawność obróbki wpływają cztery kąty: γ – kąt odchylenia, δ – kąt skrawania, φ – kąt odchylenia podłużnego, ψ – kąt odchylenia poprzecznego. Dla żelaza i stali kąty te powinny wynosić: $\gamma = 6^\circ$, $\delta = 68^\circ$, $\varphi = 8^\circ$, $\psi = 14^\circ$.

Określenie tak dokładnych kątów było trudne, do tego dochodziły problemy z hartowaniem stali szybko tnącej, z której wykonywano noże. Niemniej na terenie Polski system powierzania wyrobu narzędzi



Rys. 1. Kształt noża tokarskiego wg Taylora [1]
Fig. 1. Turning tool shape acc. to Taylor [1]

tokarzom był szeroko stosowany. Noże tokarskie i strugarskie wykonywano trzema metodami.

Pierwszy sposób wytwarzania polegał na wykonaniu całego noża ze stali szybko tnącej. Zaletą takich noży była ich trwałość, najlepsze możliwe przewodnictwo cieplne, możliwość stosowania najwyższych prędkości skrawania, mniejsza strata materiału, natomiast wadą był znaczny koszt narzędzia. Celem zabezpieczenia ciągłości produkcji tokarz potrzebował kilkudziesięciu noży gotowych do użytku. Masa jednego noża wynosiła kilka funtów, 1 funt stali szybko tnącej kosztował ok. 2 rubli, co w sumie dawało kilkaset rubli na jednego tokarza. Mało firm mogło sobie pozwolić na taki

wydatek, w związku z czym zastosowano tzw. oprawki lub uchwyty do noży (drugi sposób wytwarzania noży). Zaletą tego rozwiązania było ograniczenie obróbki stali szybko tnącej do hartowania i szlifowania, bez jej przekuwania, oraz mała ilość stali potrzebna do zaopatrzenia warsztatu, wadą natomiast złe przewodnictwo cieplne, nie dość sztywne osadzenie części skrawającej, powodujące możliwość wystąpienia drgań, a także znaczny koszt oprawek, wynoszący ok. 10 rubli za sztukę [1]. Trzeci sposób, najbardziej rozpowszechniony, polegał na lutowaniu lub zgrzewaniu płytki ze stali szybko tnącej z trzonkiem ze stali węglowej. Czynności początkowe w obu przypadkach były takie same. Pręt ze stali maszynowej, o stosunku wysokości do grubości 3:2 nacinano w miejscu, w którym miał być nakładany element ze stali szybko tnącej. Powierzchnie styku przed zabiegiem były starannie oczyszczone.

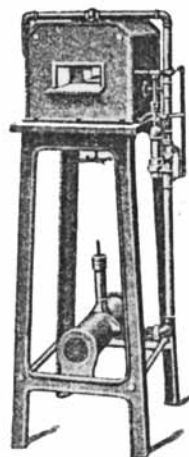
W przypadku lutowania element ze stali szybko tnącej był przywiązany dwoma drutami do trzonka, a pod drut, w miejscu styku, wkładano cienką blaszkę miedzianą, wszystko posypywano białym, czystym, drobno sproszkowanym boraksem i wsuwano do pieca. Początkowo, do temperatury 850÷900°C, nagrzewanie prowadzono wolno, następnie do temperatury 1100÷1200°C bardzo szybko, w przeciągu niespełna minuty. Roztopiona miedź zapełniała przestrzeń między lutowanymi materiałami. Po rozplynięciu się miedzi szybko usuwano nóż z ognia i przedmuchiwano go sprężonym zimnym powietrzem, unikając chłodzenia krawędzi tnącej [1].

Zgrzewanie było procesem trudniejszym. Element nakładany i trzonek nagrzewano oddzielnie, przy czym szybkość nagrzewania była taka sama jak przy lutowaniu, tzn. wolno do temperatury ok. 900°C i szybko do ok. 1200°C. Gdy temperatura elementów była taka sama, posypywano koniec trzonka opiłkami stalowymi zmieszany z palonym boraksem, kładziono na kowadło, przykładano element ze stali szybko tnącej i uderzano młotem. Trudnością tej metody była konieczność uzyskania połączenia przy jednym uderzeniu, gdyż następne nie mogły już połączyć części, a mogły doprowadzić do pęknięcia elementu ze stali szybko tnącej [1]. Z powodu trudności wykonania, zgrzewanie stosowano tylko do wytwarzania dużych ilości noży, dzięki czemu pracownicy nabierali znacznej wprawy i nie niszczyli materiału.

Nagrzewanie przed spajaniem prowadzono w ogniskach kowalskich, z dość silnym strumieniem powietrza, w piecach opalanych ropą lub innym płynem łatwopalnym, a także w piecach gazowych.

Ogniska kowalskie głębokie były lepsze od płytkich, opalanie koksem lepsze od opalania węglem koksującym, jednak zawsze trudno było utrzymać przez dłuższy czas temperaturę potrzebną do obróbki stali szybko tnącej, co nie było trudne w piecach opalanych ropą. Najlepsze efekty osiągnano w piecach gazowych, w których temperaturę regulowano zmianą dopływu gazu i powietrza (rys. 2).

Spajanie jako metoda wytwarzania noży miało wiele zalet, m.in.: niską cenę, dość dobre przewodnictwo



Rys. 2. Piec gazowy do nagrzewania elementów do kucia, lutowania i hartowania [1]

Fig. 2. Gas furnace for elements heating for forging, soldering and hardening [1]

cieplne, sztywne osadzenie spjanego elementu, możliwość ponownego użycia trzonka po zużyciu końcówki ze stali szybko tnącej. Trudności przy wytwarzaniu, mniejsza dopuszczalna prędkość skrawania niż przy nożu litym, marnowanie znacznej ilości materiału, duże zużycie kamieni szlifierskich, to główne wady tej metody [1].

W latach dwudziestych ub.w. noże produkowano przez wytworzenie nakładek na stali węglowej elektrodą ze stali szybko tnącej, napawając elektrycznie prądem 140÷160 A, przy napięciu 28 V. Grubość uzyskanej warstwy (napoiny) wynosiła ok. 6 mm (1/4"). Noże po napawaniu były poddawane hartowaniu [2].

Napawanie gotowych płytek ze stali narzędziowej było utrudnione ze względu na problemy ze zmontowaniem płytki z trzonkiem. Dopiero zgrzewanie elektryczne umożliwiło uzyskanie prawidłowego połączenia. W Zakładach Siemens Schuckert skonstruowano specjalną maszynę umożliwiającą zgrzanie 30 noży na godzinę [3].

Do wytwarzania noży tokarskich stosowano również stopy stellite, natapiane płomieniem acetylenowym na trzon narzędzia lub lutowane lutem niklowym, zawierającym 25% lub 50% Ni [4].

W 1926 r. w zakładach Kruppa zakończono badania stopu o handlowej nazwie Widia (Widia – Wie Diamant), co było początkiem rozwoju bardzo twardej materiałów, stosowanych na narzędzia skrawające [5]. Głównymi składnikami tych stopów były węgliki wolframu, tantal, tytanu i molibdenu w osnowie kobaltu lub niklu [8]. Płytki, stanowiące ostrze narzędzi skrawających, wykonywano przez prasowanie proszku węglików w wysokiej temperaturze [4]. Ostateczne utwardzenie uzyskiwano, podgrzewając elementy do ok. 1500°C [8]. Tak uzyskane płytki łączono z trzonkami narzędzi metodami przypawania lub lutowania.

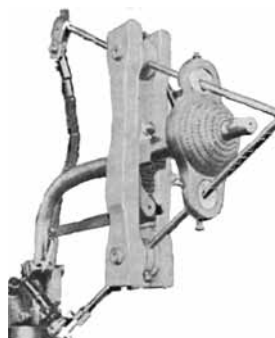
Przypawanie nie dawało oczekiwanych rezultatów, gdyż utworzona warstwa spoiwa, o grubości ok. 1 mm, była porowata i elastyczna. Płytką przymocowana była niebezpiecznie i mogła odpaść w przypadku uderzenia [5]. Dlatego lutowanie stało się technologią dominującą.

Trzonki noży były wykonywane z wyżarzanej stali węglowej lub niklowej [5]. Miejsca trzonka, w którym miała być nakładana płytka, jak i sama nakładka, były frezowane lub szlifowane oraz oczyszczane, tak by powierzchnie dobrze do siebie przylegały. Trzon był nagrzewany w piecu do temperatury ok. 800°C, po czym posypywany boraksem w miejscu przyłożenia ostrza. Po stopieniu boraksu trzon oczyszczano z zendry, następnie nakładano ostrze i lut w postaci pręta, wiórów lub kawałka drutu z miedzi elektrolitycznej. Tak przygotowany trzon wkładano do pieca o temperaturze ok. 1100°C. Proces prowadzono w atmosferze redukującej, by nie dopuścić do odwęglenia płytki [10]. Po roztopieniu miedź wpływała pod płytę, tworząc lutwinę. Po wyjęciu trzonu z pieca ręcznie dociskano płytkę małym stemplem aż do uzyskania złącza, po czym umieszczano nóż w skrzynce ze sproszkowanym węglem drzewnym, zabezpieczając ją przed szybkim stygnięciem i działaniem tlenu z powietrza [8, 10].

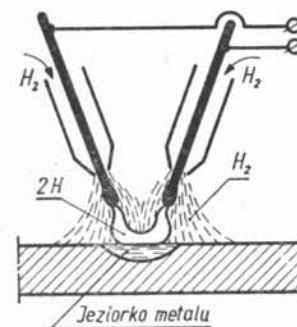
Czysta miedź, stosowana do lutowania, została z czasem zastąpiona lutami o bardziej złożonym składzie chemicznym. Stosowano luty zawierające Fe_2O_3 , Cu_2O , boraks, łatwo topliwe szkło drobno mielone [11] lub lutowie będące mieszaniną 12% boraksu, 20% pięćdziesięcioprocentowego żelazokrzemu i 68% osiemdziesięcioprocentowego żelazomanganu, do uzyskanej mieszaniny dodawano 25% czystych opiłków ze stali szybko tnącej. Tak przygotowany lut był stosowany do lutowania stali szybko tnącej ze stałą węglową, o składzie $0,5 \div 0,63\%$ C, $0,60 \div 0,90\%$ Mn, maks. 0,04% P i min. 0,15% Si [6].

Technologia lutowania polegała na naniesieniu warstwy lutu, grubości 1,5 mm, na powierzchnię trzonka w miejscu łączenia, nałożeniu nakładki, ponownym naniesieniu lutu na nakładkę i nagraniu całości w piecu do temperatury $840 \div 870^\circ C$. Po wyjęciu z pieca nakładkę mocno dociskano do trzonka i ponownie umieszczano nóż w piecu, nagrzewając go szybko do temperatury $1230 \div 1290^\circ C$. W wyniku nagrzewania następowało nadtopianie nakładki oraz trzonka w miejscu ich zetknięcia. Nagrzany nóż był następnie umieszczany w prasie w celu wyciśnięcia żuźla z miejsca zetknięcia i po wyjęciu z prasy chłodzony strumieniem powietrza do temperatury otoczenia. Ponownie nagrzewano nóż w kąpieli solnej o temperaturze $593 \div 620^\circ C$, czas nagrzewania wynosił ok. 1 h/1" przekroju. Po wyjęciu z kąpieli narzędzie chłodzono w powietrzu [6].

Dłuższy czas pracy zapewniały noże wytworzone metodą napawania stali szybko tnącej na trzonki ze stali węglowych i chromowoniklowych [7]. Stal napawana zawierała 0,6% C, 18,8% W, 5,06% Cr, 0,2% V i 0,35% Mo. Napawanie prowadzono aparatem Arcatom, dającym strumień wodoru atomowego, dzięki przepuszczaniu wodoru cząsteczkowego przez łuk elektryczny, powstający między dwoma elektrodami wolframowymi – metoda Langmuira (rys. 3, 4) [7, 14]. Atomy wodoru oddają pobrane ciepło powierzchni spawanej, łącząc się ponownie w cząsteczki H_2 . Dzięki temu przy spawaniu uzyskiwano



Rys. 3. Split hydrogen flame welding torch [15]
Fig. 3. Split hydrogen flame welding torch [15]



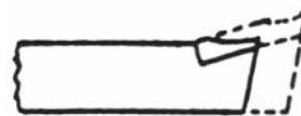
Rys. 4. Metoda Arcatom Langmuira [14]
Fig. 4. Arcatom Langmuira method [14]

temperaturę przekraczającą $4000^\circ C$ [13]. W metodzie tej spawany materiał był chroniony przed wpływem tlenu i azotu z powietrza, materiał nie był włączony w obwód prądu, gdyż łuk był niezależny, a spalający się wodór podgrzewał miejsce spawania, co zapobiegało zbyt szybkiemu stygnięciu złącza [13]. Metodę tę stosowano do wytwarzania [7], a także naprawy uszkodzonych narzędzi [13]. Umożliwiała ona spawanie bez większych trudności stali niklowej zawierającej do 85% Ni, molibdenowej do 20% Mo, kobaltowej do 35% Co, chromowej do 35% Cr, manganowej do 15% Mn i wolframowej do 22% W [13].

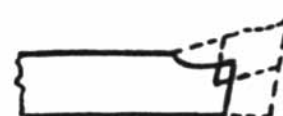
Po napawaniu narzędzia hartowano i odpuszczano, tak by uzyskać wytrzymałość $90 \div 100$ MPa [7].

Wysoka cena stali szybko tnących spowodowała, że zaczęto poszukiwać rozwiązań mających na celu stosowanie jak najmniejszych płytek o kształcie umożliwiającym najlepsze wykorzystanie materiału.

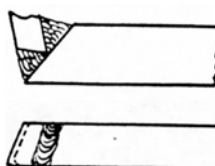
W przypadku noży z płytką zgrzewaną tylko ok. 50% płytki jest wykorzystywane na właściwą pracę skrawania; wymiar płytki dobiera się raczej w celu dobrego połączenia z trzonkiem (rys. 5). Idealnym rozwiązaniem jest takie, w którym płytka ma tak dobrane wymiary, by przy kolejnych ostrzeniach mogła być całkowicie zużyta (rys. 6).



Rys. 5. Schemat zużywania się noża po zgrzewaniu kuziennym [9]
Fig. 5. Scheme of the cutting edge wear after forging [9]



Rys. 6. Schemat noża umożliwiającego całkowite wykorzystanie płytki [9]
Fig. 6. Scheme of turning tool for full life use of insert [9]



Rys. 7. Nóż do zdzierania z płytką spawaną [9]
Fig. 7. Turning tool with insert assembled by welding [9]

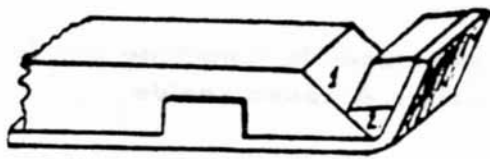
Rozwiązanie zaproponowane w pracy [9] może być uważane za bliskie idealnego (rys. 7).

Płytkę miała kształt równoległoboku i profil dobrany według jej prawdopodobnego zużycia podczas kolejnych ostrzeń. Spawacz szepiał ze sobą płytki i trzonki w odpowiednim szablonie (rys. 8), a następnie spawał łukiem elektrycznym, wypełniając naturalnie utworzone rowki.

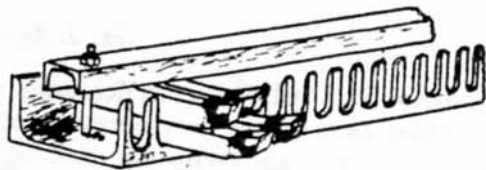
W produkcji seryjnej spawanie odbywało się w odpowiednim przyrządzie, w którym można było ułożyć 100 noży (rys. 9). Spawacz najpierw wypełniał rowek 1 na wszystkich nożach, następnie odwracał przyrząd i wypełniał rowek 2 (rys. 8) [9].

Przyrząd ten, oprócz zaoszczędzenia pracy przy przekręcaniu i mocowaniu noży, umożliwiał spawanie z przerwami, tj. cienkimi warstwami na wszystkich nożach, co zabezpieczało płytkę ze stali szybko tnącej przed zbytnim nagraniem i nadmiernymi naprężeniami wywołującymi pęknięcia. Do spawania stosowano elektrody o średnicy 2 mm do wykonywania pierwszej warstwy i o średnicy 3 mm do warstw następnych [9].

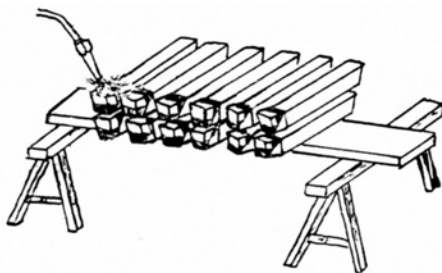
Wykonane noże po zgrubnym oczyszczeniu na szlifierni hartowano, nagrzewając je płomieniem acetylenowo-tlenowym i studzono w strumieniu powietrza. W praktyce jednocześnie nagrzewano więcej noży, co zdecydowanie skracało czas obróbki (rys. 10).



Rys. 8. Szablon do szepiania płytki z trzonkiem [9]
Fig. 8. Template for insert with handle montage [9]



Rys. 9. Przyrząd do spawania noży [9]
Fig. 9. Instrument for turning tools welding [9]



Rys. 10. Hartowanie noży płomieniem acetylenowym [9]
Fig. 10. Hardening by acetylene flame of turning tools [9]

Koszt wyrobu jednego noża wynosił 1,16 zł i obejmował:

<i>Materiały:</i>	
Płytkę ze stali szybko tnącej 50 g	55 gr
Trzonek ze zużytego noża	5 gr
Elektrody 50 g	10 gr
Razem	70 gr

<i>Robocizna:</i>	
Odcięcie z pręta 1 płytki	0,8 min
Odcięcie starej nakładki lub odcięcie z pręta nowego trzonka	1,8 min
Spawanie 1 noża	8,0 min
Hartowanie 1 noża	1,5 min
Czyszczenie zgrubne	1,0 min
Razem	13,1 min

<i>Energia:</i>	
Prąd 0,4 kWh	6 gr
Acetylen 20 l	5 gr
Tlen 22 l	5 gr
Razem	16 gr

Licząc 1 godzinę roboczną po 1,4 zł i nie doliczając dodatkowych kosztów warsztatowych, łączny koszt wykonania 1 noża wynosił:

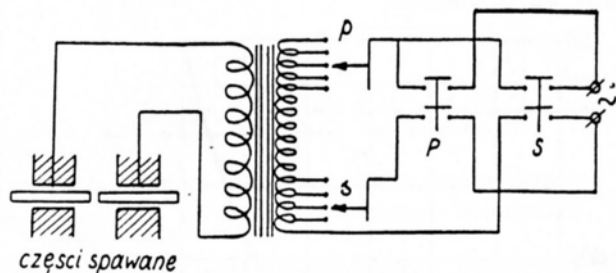
Materiały	70 gr
Robocizna	30 gr
Energia	16 gr
Razem	1,16 zł

Koszt materiału nakładanego, tj. stali szybko tnącej, stali lub węglików spiekanych spowodował dążenie do ograniczenia ilości stopów stosowanych na narzędzia. Znaczne oszczędności materiałowe uzyskano, stosując zgrzewanie oporowe (woryginalie „spawanie stykowe”) płytki ze stali szybko tnącej z trzonkiem ze stali konstrukcyjnej [12]. Do spawania używano specjalnych urządzeń o mniejszej mocy (rys. 11).

Moc urządzenia, w zależności od przekroju zgrzewanych elementów, przedstawiono w tabelicy.

Im większa była moc urządzenia, a mniejszy przekrój łączonych części, tym szybciej następowało nagrzewanie. Za mała moc powodowała wydłużenie procesu lub uniemożliwiała prawidłowe nagrzanie elementów. Zgrzewanie małych przekrojów na urządzeniu o dużej mocy mogło prowadzić do wytapiania łączonych materiałów [12].

Części zgrzewane mocowano w miedzianych szczękach urządzenia, chłodzonych wodą. Szczęki te były włączone w obwód wtórny transformatora, którego uzwojenie pierwotne miało dwa obwody, pozwalające na rozbięcie zabiegu na dwa etapy: podgrzewania i zgrzewania. Jedna ze szczęk zgrzewarki była stała, a druga przesuwana za pomocą dźwigni lub koła



Rys. 11. Schemat urządzenia do „spawania stykowego” ostrza narzędzi ze stali szybko tnącej do uchwyty ze stali konstrukcyjnej [12]
Fig. 11. Scheme of the instrument to “contact welding” of insert made of high speed steel with holder made by structural steel [12]

Tablica. Optymalna moc urządzeń do „spawania stykowego”
Table. Optimal power of devices for “contact welding”

Maksymalny przekrój, mm ²	300	750	1500	2250	3000
Moc, kVA	10	25	50	75	100

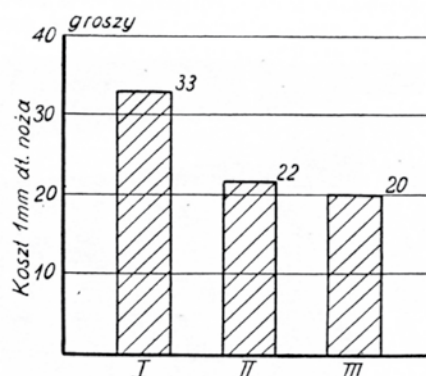
o dużej średnicy. Konstrukcja ta pozwalała na docisk części zgrzewanych podczas procesu.

Zabieg zgrzewania był wykonywany dwoma metodami:

- *zgrzewania oporowego*, polegającego na zetknięciu części i przepuszczeniu prądu do momentu osiągnięcia temperatury topnienia i następnie silnym ich ściśnięciu, z równoczesnym wyłączeniem prądu;
- *zgrzewania iskrowego*, podczas którego nagrzewano oporowo części do temperatury 900°C, a następnie odsuwano szczęki w celu wytworzenia łuku. Nadtopione powierzchnie dociskano, równocześnie wyłączając prąd [11].

Części wykonane obiema metodami studzono w gorącym popiele i wyżarzano w celu usunięcia naprężeń i zmiękczenia materiału. Ze względu na wytopienie oraz ściśnięcie materiału przy zgrzewaniu stosowano części o nieco większej długości.

Koszt eksploatacji noży, uzyskanych metodą zgrzewania oporowego, był zdecydowanie niższy niż noży wytworzonych innymi metodami (rys. 12).



Rys. 12. Koszt eksploatacji noża w zależności od konstrukcji [12]; I – koszt 1 mm długości roboczej noża pełnego wykonanego ze stali szybkoobrotowej i zużytego w 1/3 długości, II – koszt narzędzia po spawaniu pozostałej końcówki do uchwyty ze stali konstrukcyjnej i ponownym przerobieniu na nóż, III – koszt noża zgrzewanego w 1/3 długości ze stalą szybkoobrotową

Fig. 12. Turning tool operating cost depending on the design [12]; I – the cost of 1 mm working length of the tool made of high-speed steel and with the wear of 1/3 length, II – the cost of the tool rest welding to the holder made by structural steel and its fabrication on the turning tool, III – cost of turning tool welded in 1/3 of length of high-speed steel

Jak widać, zastosowanie metod spawalniczych do wytwarzania narzędzi skrawających umożliwiło szybki rozwój przemysłu narzędziowego oraz pozwoliło znacznie obniżyć koszty obróbki maszynowej.

Literatura

- [1] Geisler E.: Narzędzia warsztatowe. Przegląd Techniczny. T. II, nr 29, 1914, s. 385-387.
- [2] Instrukcja – Elektrody ze stali szybkoobrotowej. Mechanik, nr 2/1928, s. 59.
- [3] Noże tokarskie z napawanymi płytkami ze stali narzędziowej. Mechanik, nr 3/1928, s. 89-90.
- [4] Wrażej W.: Sprawozdanie z działu materiałów żelaznych. Konferencja Materiałoznawcza w Berlinie. Przegląd Techniczny, nr 5/1928, s. 94-100.
- [5] Stop Widia i jego zastosowanie. Mechanik, nr 3, 1930, s. 86.
- [6] Lutowanie nakładek ze stali szybkoobrotowej do trzonek ze stali węglowej. Mechanik, nr 3/1933, s. 66.
- [7] Obrębski J.: O nożach tokarskich nadlewanych stalą szybkoobrotową. Mechanik, nr 10/1933, s. 204.
- [8] Skuba W.: Stop „Widja” w zastosowaniu do narzędzi. Mechanik, nr 2/1934, s. 24-28.
- [9] Biernacki J.: Wyrób noży nakładanych za pomocą spawania łukiem elektrycznym i hartowania płomieniem acetylenowym. Przegląd Mechaniczny, nr 15-16/1936, s. 572-574.
- [10] Dworski J.: Wytwarzanie noży z płytkami ze stopów twardych. Mechanik, z. IV, 1938, s. 99-105.
- [11] Dworski J.: Wytwarzanie noży nakładanych stalą szybkoobrotową. Mechanik, z. 6, 1938, s. 178-183.
- [12] Pietrykiewicz T., Hayto Z.: Spawanie stykowe narzędzi. Przegląd Mechaniczny, nr 13-14/1939, s. 486-491.
- [13] Goleniewicz J.: O spawaniu stali stopowych przy naprawie narzędzi. Przegląd Techniczny, nr 1/1934, s. 19-22.
- [14] Dobrowolski Z.: Podręcznik spawania. WNT, Warszawa 1972.
- [15] Nowe zdobycze w dziedzinie spawania elektrycznego. Przegląd Techniczny, nr 23/1926, s. 359-360.

W następnym numerze

Tomasz Kozak

Odporność na zimne pękanie złączy spawanych ze stali P460NL1

Anna Pocica

Spawanie w przemyśle włókienniczym w trzeciej dekadzie XX wieku (z teki Jacka Lassocińskiego)

Anthony B. Murphy

Wpływ oparów metalicznych na spawanie łukowe, Część 2: Obliczanie