

HARTOWANIE LASEROWE NARZĘDZI Z WYKORZYSTANIEM PODZIELNIKA WIĄZKI

Głównym problemem występującym podczas hartowania laserowego narzędzi jest brak ciągłości oraz zróżnicowanie właściwości warstwy wierzchniej w wyniku zastosowania wielu równoległych ścieżek hartowania. W konsekwencji pomiędzy kolejnymi ścieżkami może wystąpić obszar odpuszczony bądź niedostatecznie zahartowany. W artykule przedstawiono oryginalny sposób hartowania laserowego narzędzi, szczególnie gnących, z wykorzystaniem podzielnika wiązki światła laserowego. Taki sposób hartowania umożliwia jednoczesne nagrzewanie i hartowanie naroża narzędzia oraz powierzchni do niego przylegających na żądanej szerokości w jednym przejściu z takimi samymi parametrami. W konsekwencji warstwa zahartowana jest jednakowa na powierzchni naroża oraz powierzchniach przylegających tj. bez obszarów odpuszczonych lub niedostatecznie zahartowanych. Zastosowanie tego sposobu wymaga wyposażenia głowicy lasera hartowniczego w podzielnik, którego zadaniem jest rozdział wiązki światła laserowego na oddzielne części tej wiązki o regulowanej szerokości za pomocą odpowiednio usytuowanych lusterek. Nowy sposób hartowania nie tylko wyeliminowuje problem tzw. śladów hartowniczych powstałych w wyniku hartowania laserowego co w bezpośredni sposób wpływa na jakość, wytrzymałość i trwałość narzędzia lecz ponadto jest znacznie bardziej wydajny i korzystny także ze względów ekonomicznych.

WSTĘP

Istnieją dwie metody utwardzania powierzchniowego narzędzi, fizyczne, np. hartowanie indukcyjne oraz chemiczne. Hartowanie indukcyjne jest najczęściej stosowane do utwardzania powierzchni narzędzi [1-7]. W przypadku narzędzi o dużych przekrojach i niewielkim zróżnicowaniu grubości, powierzchniowe hartowanie indukcyjne pozwala uzyskać twarde powierzchnie i ciągliwy rdzeń. Jednak metoda ta nie umożliwia zahartowania pojedynczych powierzchni, zwłaszcza zaokrągłeń lub wybranych fragmentów powierzchni bez zmiany właściwości powierzchni z nimi sąsiadujących. Największe trudności występują gdy narzędzie ma bardzo zróżnicowaną grubość. Hartowanie takiego narzędzia może prowadzić do występowania w najmniejszych przekrojach narzędzia niemal całkowitego zahartowania materiału. Narzędzie takie podczas obciążania siłami kształtowania w trakcie eksploatacji może ulec zniszczeniu. W sytuacji, gdy po zahartowaniu narzędzie jest wysoko odpuszczone można uzyskać ciągliwy rdzeń, ale następuje przedwczesne zużycie jego powierzchni roboczych.

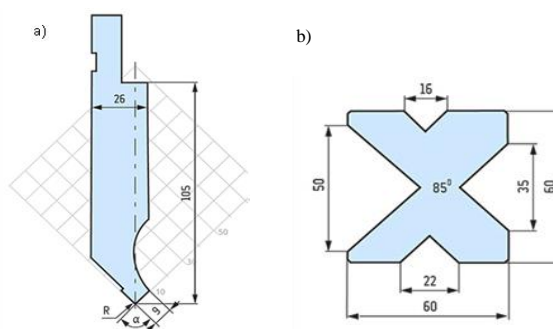
W celu wyeliminowania trudności występujących w hartowaniu indukcyjnym w technologii wytwarzania narzędzi wykorzystywana jest technika hartowania laserowego [8-13]. Umożliwia ona hartowanie pojedynczych powierzchni narzędzia, najczęściej tylko tych, które są w kontakcie z materiałem obrabianym i są narażane na naciski i zużycie ściernie. W przypadku hartowania laserowego można hartować powierzchniowo pojedyncze powierzchnie lub nawet ich wyznaczone obszary na wymaganą głębokość oraz twardość co pozwala uzyskać warstwy zahartowane, twardsze o bardziej drobnoziarnistej strukturze, cieńsze, wytrzymałe statycznie i zmęczeniowo oraz bardziej odporne na zużycie ściernie. Zaletą hartowania laserowego, w porównaniu do hartowania indukcyjnego, jest brak konieczności stosowania obróbki wykańczającej na przykład szlifowania. Ponadto hartowanie tylko wybranych powierzchni narzędzia znacznie ogranicza powstawanie naprężeń hartowniczych, które są przyczyną trwałych deformacji narzędzi po hartowa-

niu. Z tego względu w praktyce stosując hartowanie laserowe do minimum ogranicza się powierzchnię hartowaną narzędzia.

Celem artykułu jest przedstawienie sposobu hartowania laserowego narzędzi gnących z zastosowaniem podzielnika wiązki laserowej oraz korzyści wynikających z jego zastosowania na przykładzie narzędzi gnących.

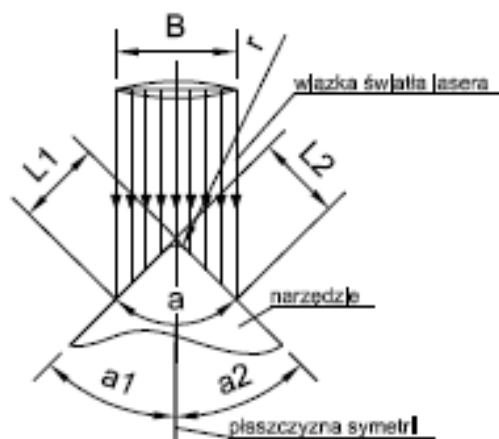
1. TRADYCYJNE SPOSOBY HARTOWANIA LASEROWEGO NARZĘDZI

Dostępne na rynku urządzenia do hartowania laserowego oraz stosowana dotychczas technologia hartowania laserowego posiada poważne ograniczenia, które wynikają z kształtu i wymiarów powierzchni hartowanych narzędzi. Narzędzia posiadają powierzchnie płaskie usytuowane pod różnymi kątami, które łączą się z innymi powierzchniami poprzez powierzchnie najczęściej walcowe. W przekroju poprzecznym narzędzia lub na jego profilu (rys. 1), powierzchnie płaskie są liniami prostymi, natomiast walcowe są promieniami zaokrąglenia. Promienie zaokrąglenia mogą być zewnętrzne, czyli takie które tworzą naroża tych narzędzi oraz wewnętrzne.



Rys. 1. Przykładowe profile typowych narzędzi gnących do pras krawędziowych wraz z wymiarami [14]: stempel - a, oraz matryca - b.

Obecnie w praktyce stosuje się różne techniki hartowania laserowego. W przypadku narzędzi gnących najczęściej hartuje się tylko naroże oraz powierzchnie do niego przylegające o określonej długości. Długość ta zależy od wielkości powierzchni kontaktu materiału kształtowanego z narzędziem. Znanych jest dotychczas kilka sposobów hartowania laserowego narzędzi jeżeli chodzi o ustawienie i prowadzenie wiązki światła lasera hartowniczego względem hartowanych powierzchni narzędzia. Pierwszy z nich został przedstawiony na rysunku 2.



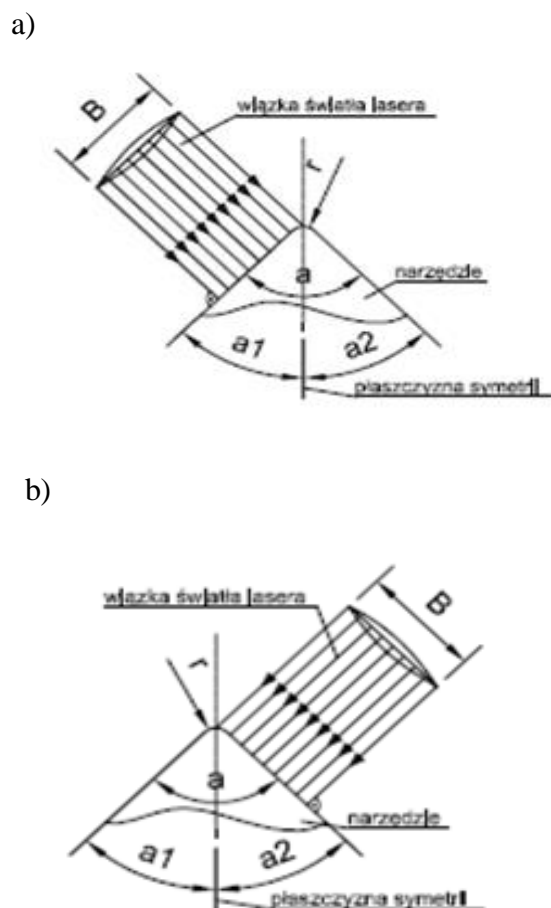
Rys. 2. Sposób ustawienia i prowadzenia wiązki światła lasera hartowniczego podczas hartowania naroża i powierzchni przylegających w jednym przejściu

Polega na tym, że wiązka światła lasera hartowniczego o szerokości B kierowana jest na narzędzie tak, że część środkowa wiązki pada na naroże równoległe do jego płaszczyzny symetrii. W ten sposób nagrzewa naroże oraz część powierzchni do niego przylegających na długościach L1 i L2. Długości L1 i L2 powierzchni zahartowanych zależą od kątów pochylenia powierzchni przylegających do naroża a1 oraz a2 i wynoszą odpowiednio:

$$L1 = B / 2 \sin(a1) \quad (1)$$

$$L2 = B / 2 \sin(a2) \quad (2)$$

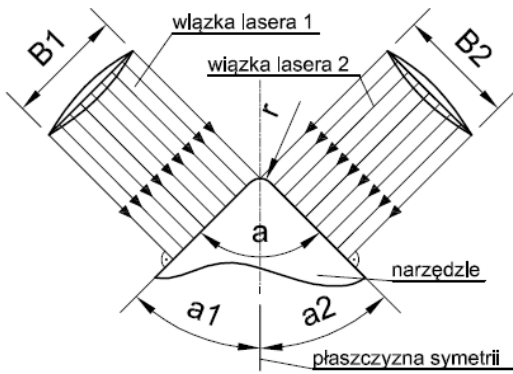
W przypadku, kiedy kąty powierzchni przylegających do naroża są takie same $a1 = a2$ wówczas $L1 = L2$. Jeżeli natomiast kąt $a1 < a2$ wówczas $L1 > L2$. Im kąt wierzchołkowy narzędzia jest mniejszy tym większa powierzchnia narzędzia ulega zahartowaniu przy założeniu stałej szerokości wiązki światła. Zaletą tego sposobu jest to, że wymagane powierzchnie hartowane są jednocześnie w jednym przejściu wiązki światła lasera hartowniczego. Rozwiązanie takie posiada jednak szereg wad. Jedną z nich jest to, że wiązka światła nie pada prostopadłe na hartowane narzędzie, co znacznie obniża efektywność nagrzewania. Ponadto jeśli kąt $a1 \neq a2$ wówczas poszczególne powierzchnie przylegające nie są jednakowo nagrzewane, a to spowoduje, że ich właściwości po hartowaniu nie są takie same. W tego typu metodzie poważnym ograniczeniem jest uzyskiwana długość odcinków hartowanych L1 i L2 na powierzchniach przylegających do naroża. W większości przypadków jest ona niewystarczająca, zwłaszcza przy większych kątach wierzchołkowych narzędzi. W przypadku kiedy przedstawiony sposób hartowania nie może być zastosowany ze względu na niewystarczającą długość L1 oraz L2 stosuje się technikę hartowania przedstawioną na rysunku 3.



Rys. 3. Sposób ustawienia i prowadzenia wiązki światła lasera hartowniczego podczas hartowania naroża i powierzchni przylegających w dwóch przejściach

W pierwszym przejściu, przedstawionym na rysunku 3a hartuje się część naroża i jedną powierzchnię przylegającą, w drugim przejściu (rys. 3b), hartowana jest pozostała część naroża i druga powierzchnia przylegająca. Takie podejście umożliwia pełne pokrycie warstwą hartowaną powierzchniami przylegających na wymaganej długości L1 oraz L2 równej szerokości B wiązki światła lasera hartowniczego. W tym przypadku także, efektywność nagrzewania jest znacznie większa niż w poprzednim sposobie przedstawionym na rysunku 2, gdyż światło lasera pada na powierzchnie przylegające pod kątem prostym. Istotną wadą takiego rozwiązania jest to, że na powierzchni naroża narzędzia, na samym jego wierzchołku powstaje odpuszczony lub niezahartowany obszar. Stanowi to wadę, gdyż narzędzie gnące właśnie w tym miejscu jest najbardziej obciążone w czasie eksploatacji. Wady tej praktycznie nie da się wyeliminować. Jeżeli wiązka światła w drugim przejściu będzie znajdować się blisko obszaru już zahartowanego w pierwszym przejściu, to będzie ona nagrzewać częściowo ten obszar w wyniku czego materiał w tym obszarze ulegnie odpuszczeniu. Jeżeli natomiast wiązka światła lasera hartowniczego w drugim przejściu zostanie odsunięta od obszaru zahartowanego w pierwszym przejściu, to powstanie pomiędzy obszarami zahartowanymi obszar niezahartowany.

W sposobie hartowania z zastosowaniem dwóch laserów hartowniczych przedstawionym na rysunku 4 wiązki światła pierwszego lasera o szerokości B1 oraz drugiego lasera o szerokości B2 ogrzewają jednocześnie wszystkie przylegające do siebie powierzchnie hartowane.



Rys. 4. Sposób hartowania z użyciem dwóch laserów

Takie rozwiązanie jednak prawie dwukrotnie zwiększa koszt urządzenia hartowniczego poprzez konieczność zastosowania drugiego lasera hartowniczego, ale nie stanowi to ograniczenia technicznego w praktycznym zastosowaniu tego sposobu hartowania. Ograniczenie jednak wynika z tego iż, praktycznie nie można dobrać dwóch laserów o tej samej mocy rzeczywistej, a tym samym charakterystyce nagrzewania. Z tego względu właściwości poszczególnych powierzchni po takim hartowaniu będą zawsze różnicowane.

W celu wyeliminowania przedstawionych wad wynikających z zastosowania dotychczas znanych sposobów hartowania laserowego opracowano zaprezentowany w niniejszym artykule sposób hartowania z rozdziałem wiązki światła laserowego oraz rozdzielacz wiązki światła umożliwiający jego zastosowanie do hartowania narzędzi, zwłaszcza gnących.

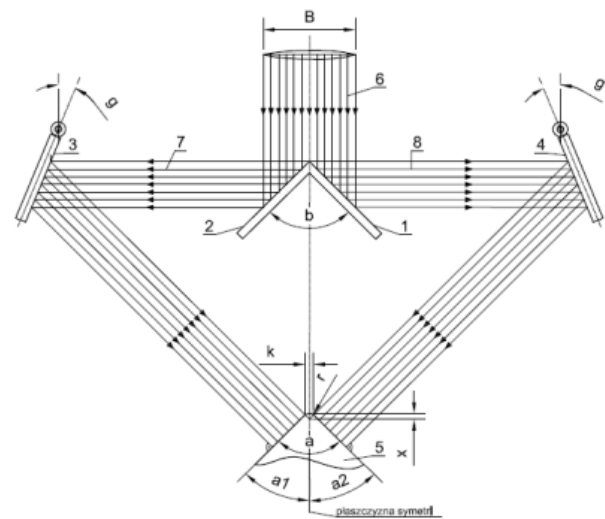
2. NOWA TECHNOLOGIA HARTOWANIA LASEROWEGO NARZĘDZI

Nowy sposób hartowania laserowego narzędzi, zwłaszcza gnących, z rozdziałem wiązki światła laserowego za pomocą zespołu lusterek [15], charakteryzuje się tym, że rozdział wiązki światła laserowego na oddzielne części tej wiązki prowadzi się na części o regulowanej szerokości. Przy czym jednocześnie w jednym przejściu nagrzewa się naroża hartowanego narzędzia i jego powierzchnie przylegające do naroża na żądanej szerokości jednakowymi parametrami światła laserowego. Każdą z tych części wiązki światła laserowego kieruje się do oddzielnej powierzchni przylegającej do tego samego naroża hartowanego narzędzia i ustawia się ją w stosunku do tej nagrzewanej powierzchni pod regulowanym kątem pochylenia, korzystnie pod kątem prostym.

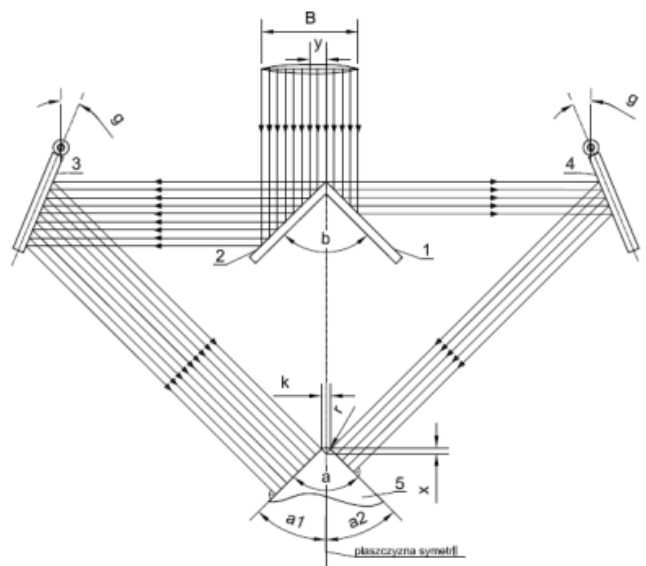
Sposób hartowania laserowego polega na rozdzieleniu wiązki światła 6 lasera hartowniczego na dwie symetryczne 7 i 8 (rys. 5) lub asymetryczne 9 i 10 (rys. 6) wiązki światła i za pomocą zespołu lusterek 1-4 skierowanie ich (najlepiej pod kątem prostym) na powierzchnie narzędzia 5 które mają być zahartowane. Takie rozwiązanie wyeliminowuje wady dotychczas stosowanych rozwiązań. Umożliwia zahartowanie powierzchni na żądanym obszarze w jednym przejściu głowicy lasera hartowniczego, przez co nie występuje na narożu narzędzia obszar odpuszczony lub nie zahartowany jak miało to miejsce w dotychczas znanych sposobach hartowania laserowego narzędzi gnących. Ponadto możliwość sterowania rozdzieloną wiązką światła lasera hartowniczego umożliwia skierowanie promieni prostopadle do nagrzewanych powierzchni przylegających do naroża narzędzia. Pozwala to uzyskać takie same parametry nagrzewania powierzchni hartowanych przylegających do

naroża niezależnie od kątów ich pochylenia. Proponowany sposób umożliwia również zahartowanie powierzchni przylegających do naroża na różnej długości L_1 i L_2 poprzez możliwość niesymetrycznego podziału wiązki światła lasera (rys. 6). Asymetria podziału następuje w wyniku przesunięcia środka wiązki lasera względem płaszczyzny symetrii (rozdziálu wiązki) o wymaganą wartość y (rys. 6).

Zarówno przy nagrzewaniu z rozdziałem symetrycznym jak i asymetrycznym wiązki światła lasera hartowniczego rozdzielone wiązki światła 7 i 8 powinny tak padać na narzędzie 5, aby nie pokrywać samego wierzchołka na pewnej szerokości k zależnej od parametrów nagrzewania (rys. 5 oraz rys. 6). Korzystnym jest gdy sam wierzchołek narzędzia o szerokości k nagrzewany jest w wyniku przenikania do niego ciepła podczas nagrzewania powierzchni z nim sąsiadujących. W przypadku pokrycia światłem lasera całego naroża narzędzia (razem z powierzchnią o szerokości k) jego temperatura po nagraniu będzie wyższa niż pozostałych powierzchni po nagrzewaniu, a to spowoduje nierównomierny rozkład twardości po zahartowaniu.



Rys. 5. Hartowanie laserowe z rozdzieleniem wiązki na dwie symetryczne za pomocą lusterek



Rys. 6. Hartowanie laserowe z rozdzieleniem wiązki na dwie asymetryczne za pomocą lusterek

Dzięki zastosowaniu podzielnika wiązki światła laserowego możliwe jest jednoczesne nagrzewanie naroża i powierzchni przylegających na żądanej szerokości w jednym przejściu z takimi samymi parametrami, co pozytywnie wpływa na żywotność narzędzia oraz jest bardziej ekonomiczne.

PODSUMOWANIE

Wybór technologii hartowania jest obecnie podyktowany przede wszystkim wymogami technicznymi dotyczącymi obrabianych narzędzi. Zastosowanie precyzyjnego i łatwego do sterowania lasera jako nośnika hartującego prowadzi do nowych możliwości w zakresie zwiększenia trwałości narzędzi.

Zaprezentowany nowy sposób hartowania laserowego narzędzi, zwłaszcza gnących, z rozdziałem wiązki światła laserowego za pomocą zespołu lusterek, charakteryzuje się tym, że rozdział wiązki światła laserowego na oddzielne części tej wiązki prowadzi się na części o regulowanej szerokości. Dzięki zastosowaniu podzielnika wiązki światła laserowego możliwe jest jednoczesne nagrzewanie i hartowanie naroża oraz powierzchni do niego przylegających na żądanej szerokości w jednym przejściu z takimi samymi parametrami, co korzystnie wpływa na właściwości warstwy wierzchniej oraz żywotność narzędzia, a także jest bardziej ekonomiczne.

BIBLIOGRAFIA

1. Wang A.Q., Xie J.P., Wang W.Y., Li J.W., Li L.L., *Effect of induction hardening on rolling wear properties of 45 steel*, *Trans. Mater. Heat Treat.* 2007, 28 (1).
2. Kim M.H., Rhee K.Y., Paik Y.N., Hong J.S., Ham Y.S., *Experimental investigation on the mechanical behavior of high-frequency induction-hardened mild carbon, SPS5 steel*, *Mater. Sci. Eng. A*, 2008, 485 (1–2).
3. Zhu X., Zhang T., Marchant D., Morris V., *The structure and properties of NiAl formed by SHS using induction heating*, *Mater. Sci. Eng. A*, 2011, 528 (3).
4. Revilla C., Lopez B., Rodriguez-Ibabe J.M., *Carbide size refinement by controlling the heating rate during induction tempering in a low alloy steel*, *Mater. Des.* (2014), 62.
5. Kristoffersen H., Vomacka P., *Influence of process parameters for induction hardening on residual stresses*, *Mater. Des.* (2001), 22 (8).
6. Savaria V., Monajati H., Bridier F., Bocher P., *Measurement and correction of residual stress gradients in aeronautical gears after various induction surface hardening treatments*, *J. Mater. Process. Technol.* 2015, 220.
7. Coupard D., Palin-Luc T., Bristiel P., Vincent J., Christian D., *Residual stresses in surface induction hardening of steels: comparison between experiment and simulation*, *Mater. Sci. Eng. A* (2008), 487 (1–2).
8. Telasang G., Dutta Majumdar J., Padmanabham G., Manna I., *Structure–property correlation in laser surface treated AISI H13 tool steel for improved mechanical properties*, *Materials Science & Engineering A*, 2014, 599.
9. Cordovilla F., Garcia-Beltrán A., Sancho P., Dominguez J., Ruiz-de-Lara L., Ocaña J.L., *Numerical/experimental analysis of the laser surface hardening with overlapped tracks to design the configuration of the process for Cr-Mo steels*, *Materials and Design* 2016, 102.
10. Ion J.C., *Surface hardening*, in: J.C. Ion (Ed.), *Laser processing of engineering materials. Principles, procedure and industrial application*, first ed. Elsevier Butterworth-Heinemann, Oxford 2005.
11. Kennedy E., Byrne G., Collins D.N., *A review of the use of high power diode lasers in surface hardening*, *J. Mater. Process. Technol.* 2004, 155–156.
12. Slatter T., Taylor H., Lewis R., et al., *The influence of laser hardening on wear in the valve and valve seat contact*, *Wear* 2009, 267.
13. Lee J-H, Jang J-H, Joo B-D, Son Y-M, Moon Y-H, *Laser surface hardening of AISI H13 tool steel*. *Trans. Nonferrous Met. Soc. China* 2009, 19.
14. <http://www.plasmet.net>
15. Kut S., Kogut K.: *Sposób hartowania narzędzi, zwłaszcza gnących z rozdziałem wiązki światła laserowego*. Zgłoszenie patentowe P.417906, 2016

Laser hardening of tools with the use of the beam

The main problem occurring during the laser hardening of tools is the lack of continuity and diversity of surface layer properties as a result of the use of many parallel hardening paths. As a consequence, there may be a forgiven or under-hardened area between successive paths. The paper presents the original method of laser hardening of tools, especially bending, using a laser beam splitter. Such a hardening method enables simultaneous heating and tempering of the tool corner and the surfaces adjoining it at the desired width in one pass with the same parameters. As a consequence, the hardened layer is uniform on the surface of the corner and adjacent surfaces, i.e. without forgiven or unhardened areas. The use of this method requires equipping the hardening laser head with a divider, whose task is to distribute the laser beam to separate parts of the beam with adjustable width by means of appropriately placed mirrors. The new method of hardening not only eliminates the problem of so-called hardening marks created as a result of laser hardening, which directly affects the quality, durability and durability of the tool, but is also much more efficient and also beneficial for economic reasons.

Autorzy:

dr inż. **Irena Nowotyńska** – Wydział Zarządzania, Politechnika Rzeszowska im. I. Łukasiewicza, al. Powstańców Warszawy 12, 35-959 Rzeszów,

e-mail: i.nowot@prz.edu.pl

dr hab. inż. **Stanisław Kut** – Wydział Budowy Maszyn i Lotnictwa, Politechnika Rzeszowska im. I. Łukasiewicza, al. Powstańców Warszawy 12, 35-959 Rzeszów,

e-mail: stan_kut@prz.edu.pl

dr **Krzysztof Kogut**, Przedsiębiorstwo Produkcji Maszyn i Urządzeń PLASMET Sp. z o.o.; ul. M. Konopnickiej 25; 37-700 Przemyśl, e-mail: k.kogut@plasmet.net

JEL: L64 DOI: 10.24136/atest.2018.147

Data zgłoszenia: 2018.05.23 Data akceptacji: 2018.06.15