

Ocena możliwości wykonania staliwnego odlewu repliki głowicy Pollaxe przy pomocy oprogramowania MAGMA⁵

K. Miś^{a*}, M. Szucki^a, G. Piwowski^a

^a Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie, Wydział Odlewnictwa,
ul. Reymonta 23, 30-059 Kraków, Polska

*Kontakt korespondencyjny: e-mail: krzysztof.mis@gmail.com

Otrzymano 22.10.2013, zaakceptowano do druku 12.12.2013

Streszczenie

Celem pracy była ocena możliwości zastąpienia czasochłonnej technologii kucia głowicy Pollaxe poprzez odlanie przedmiotu przy użyciu staliwa. W ramach przeprowadzonych badań wykonano szereg symulacji komputerowych mających na celu optymalizację technologii. Uzyskane wyniki ukazały nam możliwość poprawnego wykonania odlewu. Odlewanie umożliwia przyśpieszenie procesu produkcji i zmniejszenie kosztów wytwarzania głowicy, co jest odpowiedzią na rosnące zapotrzebowanie na tego typu repliki broni białej przez muzea oraz grupy rekonstrukcji historycznej.

Słowa kluczowe: symulacja komputerowa, staliwo, technologia, replika, broń biała.

1. Wprowadzenie

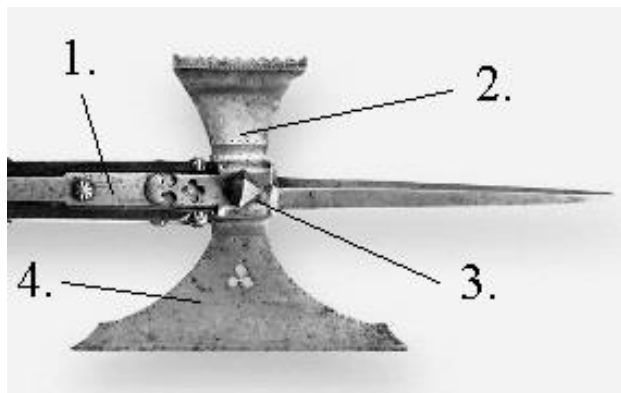
Liczne próby podjęte przez badaczy, mające na celu obniżenia kosztów oraz skrócenie czasu produkcji, a więc zwiększenie wydajności produkcyjnej, skierowały badania w kierunku zastąpienia procesu kucia, technologią odlewania. Badania przeprowadzone na ostrogach gąsienicy czołgu wykazały skrócenie czasu produkcji o siedemdziesiąt procent [1]. Rozwój technologii pozwala na podjęcie próby wytworzenia przedmiotów dotychczas kutych metodą odlewniczą, która pierwotnie była niemożliwa do zastosowania. Opracowanie technologii Bessemera umożliwiło uzyskanie staliwa dopiero w 1856 roku [2, 3].

Głowica Pollaxe, jako element broni białej, drzewcowej występował w Europie na przestrzeni XIV-XVI wieku [4]. Powstawał poprzez zgrzanie oraz nitowanie poszczególnych, wcześniej wykutych elementów. Wykorzystywany w Średniowieczu przez rycerzy do walki pieszej, znalazł współcześnie

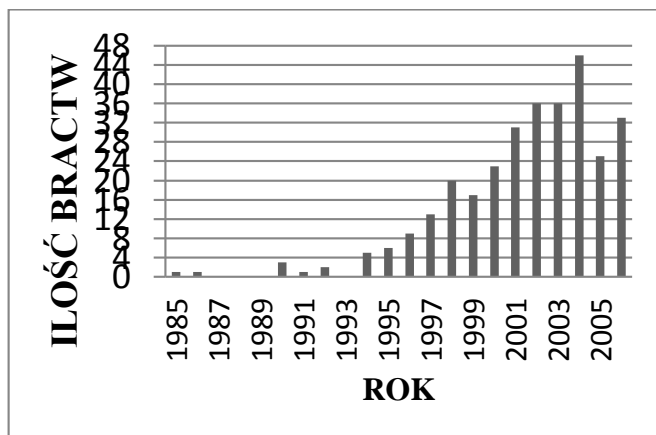
zastosowanie wśród grup rekonstrukcji historycznej. Budowę głowicy Pollaxe przedstawiono na rysunku 1, który jest oryginalnie zachowanym eksponatem, znajdującym się w zbiorach muzeum Wallace Collection w Londynie. Pierwotnie jest prawdopodobnie produkcją francuską i powstał na przestrzeni lat 1450-1500. Jego gabaryty zwymiarowano na 152,4 mm długości ostrza oraz 228,6 mm długości szpikulca, lecz wymiary nie były standaryzowane i zmieniały się na przestrzeni wieków.

W Polsce grupy rekonstrukcyjne rozpoczęły działalność na początku lat 80. Po roku 1989, gdy zwiększył się dostęp do literatury zagranicznej oraz powoli kształtował się dostęp do sieci internetowej, grup rekonstrukcyjnych zaczęło przybywać. W Ruchu Rycerskim, ilość grup rekonstrukcyjnych osiągnęła maksymalną koniunkturę w 2010 roku. Było to spowodowane okrągłą rocznicą bitwy pod Grunwaldem. Rysunek 2 wskazuje wzrost liczby bractw powstających w Polsce. Po 2010 roku tendencja wzrostowa się utrzymała dzięki ukraińskiemu, międzynarodowemu turniejowi rycerskiemu w formie prezentacji

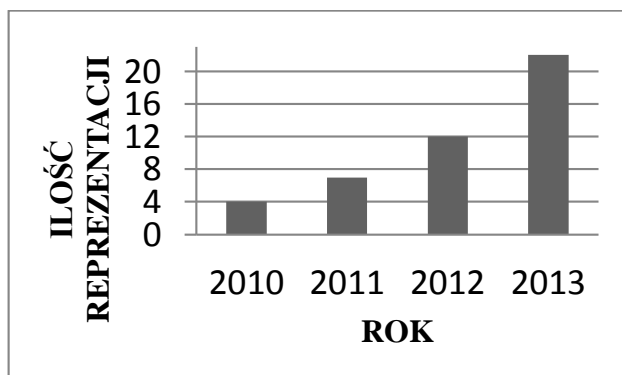
zmagania na żywo. Projekt odniósł ogromny sukces i z roku na rok przybywa coraz więcej reprezentacji krajów biorących udział w turnieju o tytuł mistrza świata w walkach rycerskich, co zostało zaprezentowane na rysunku 3.



Rys. 1. Budowa głowicy Pollaxe z kolekcji Wallace Collection:
1 - listwa, 2 - obuch, 3 - oko głowicy, 4 - lico ostrza



Rys. 2. Liczba zarejestrowanych bractw rycerskich w Polsce według [5]



Rys. 3. Wzrost ilości reprezentacji krajów w mistrzostwach świata walk rycerskich „Bitwa Narodów” [6] na przestrzeni lat

2. Metodyka badań

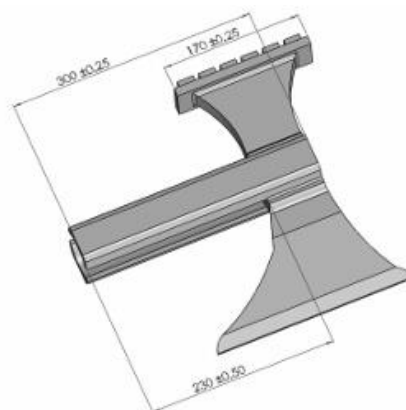
Pierwszym etapem przygotowania technologii był wybór warunków wytwarzania odlewu. Założono produkcję jednostkową. Modele trójwymiarowe odlewu oraz układu wlewowego zostały wykonane przy pomocy oprogramowania CAD firmy SolidWorks. Umożliwia on tworzenie brył trójwymiarowych, zapis w formacie STL z programem symulującym oraz oblicza objętość odlewu i układu wlewowego. Do symulacji zjawisk odlewniczych wykorzystano program MAGMA⁵. Oprogramowanie MAGMA⁵ umożliwia komputerową symulację procesów towarzyszących wytwarzaniu odlewów, w szczególności modelowania. Zastosowanie programów symulacyjnych umożliwi eliminację błędów produkcyjnych i uniknięcie przeprowadzenia kosztownych prac laboratoryjnych i przemysłowych.

W oparciu o badania spektrofotometryczne zabytków wyprodukowanych w XV wieku [7, 8] i odlanych w XIX wieku [9] oraz bazy danych z oprogramowania MAGMA⁵, powstała możliwość ustalenia składu chemicznego staliwa. Zastosowano stop staliwa węglowego, konstrukcyjnego, o oznaczeniu według normy niemieckiej GS 52 (PN-ISO 3755:1994 270-480). Skład chemiczny staliwa przedstawia tabela 1 [10].

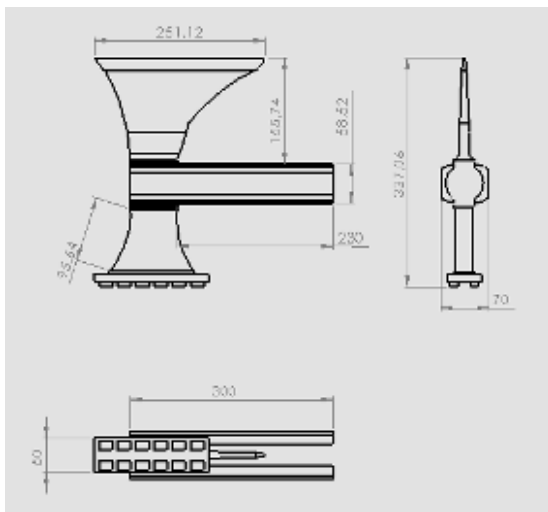
Tabela 1. Skład chemiczny stopu odlewniczego staliwa GS 52

Nr	Pierwiastek	Ilość [%]
1.	Węgiel	0,35
2.	Mangan	1,5
3.	Fosfor	0,06
4.	Siarka	0,06
5.	Krzem	0,6
6.	Miedź	0
7.	Ołów	0

Na rysunku 4 przedstawiono zwymiarowany model trójwymiarowy głowicy Pollaxe, który wykonano w oprogramowaniu CAD firmy Solidworks. Jego kształt opiera się na znalezisku przedstawionym na rysunku 1, lecz nie jest jego wierną kopią. Składa się z dużej ilości elementów o różnej grubości, takich jak cienkie listwy i lica ostrza głowicy oraz objętościowo dużego oka głowicy. Ważniejsze wymiary przedstawiono na rysunku 5.



Rys. 4. Trójwymiarowy rysunek odlewu wykonanego przy pomocy oprogramowania Solidworks



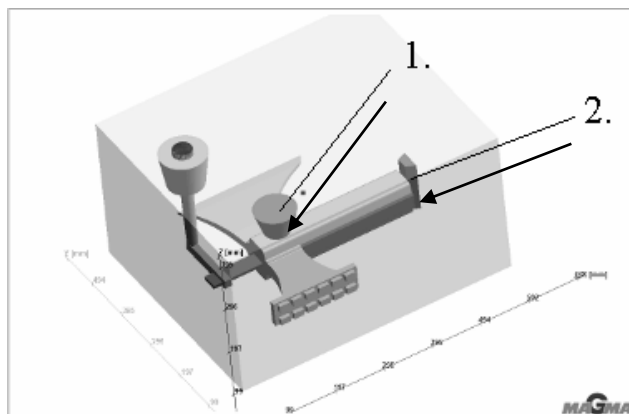
Rys. 5. Wymiary modelu użytego w symulacji wykonanego przy pomocy oprogramowania Solidworks



Rys. 7. Rozmieszczenie porowatości w odlewie uzyskana w wyniku symulacji wskazano obszarami

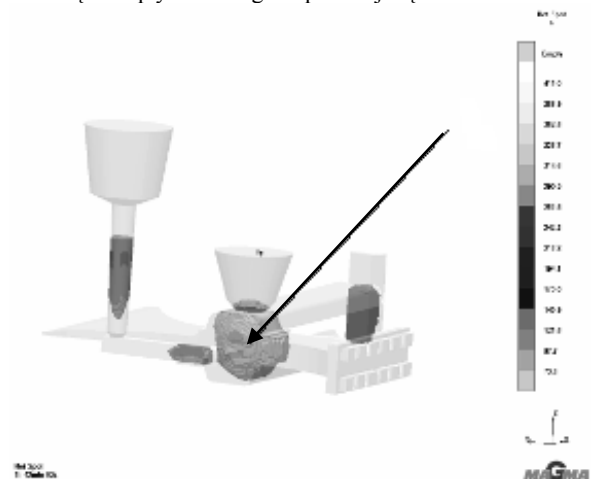
3. Opis uzyskanych wyników

Na podstawie wiedzy i własnych doświadczeń spodziewano się, że w miejscu oka głowicy powstanie duży węzeł cieplny. Dlatego w tym miejscu umiejscowiono nadlew zamknięty o wstępnie założonej wielkości.

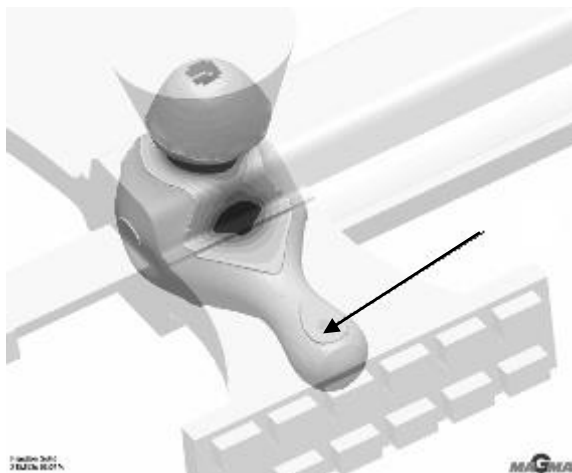


Rys. 6. Założenie technologii wyjściowej odlania głowicy przy pomocy oprogramowania MAGMA⁵. 1 – nadlew, 2 - przelew

Na rysunku 6 przedstawiono miejsce, gdzie umiejscowiono nadlew. Dodatkowo zaproponowano przelew (rys. 5), aby zapewnić odpowietrzanie oraz kierunkowe krzepnięcie w listwach odlewu. Wynik przeprowadzonej symulacji wykazuje na wiele obszarów rozległych porowatości, które zaznaczone są na rysunku 6.

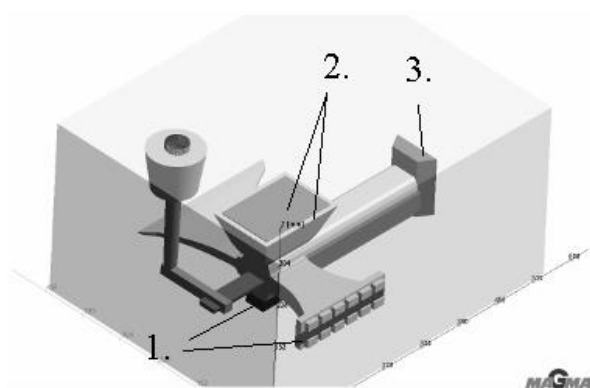


Rys. 8. Umiejscowienie węzła cieplnego w odlewie



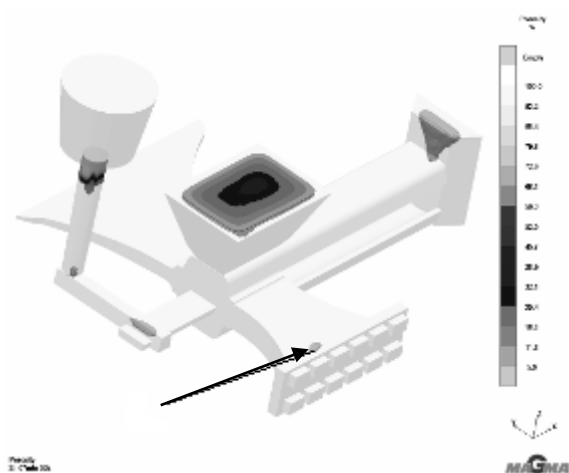
Rys. 9. Zamknięcie dopływu ciekłego stopu do lica ostrza - symulacja rozkładu frakcji stałej w odlewie

Podstawowym celem modyfikacji technologii było przesunięcie węzła cieplnego do wnętrza nadlewu oraz usunięcie porowatości z lica oraz z listew głowicy. W odlewach staliwnych porowatości jest powszechnie występującą wadą. Zjawisko porowatości wywoływane jest poprzez procesy skurczowe oraz wydzielanie się gazów z masy formierskiej do odlewu [10].



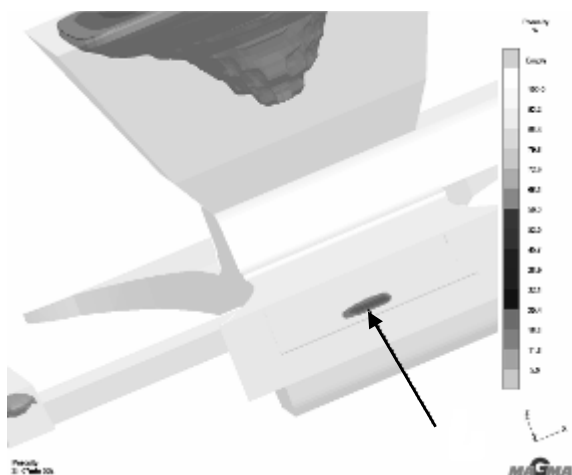
Rys. 10. Modyfikacja technologii: 1 – ochładzalniki, 2 – nadlew z otuliną, 3 - przelew

Aby poprawić zasilanie badanego odlewu w ciekły stop, zwiększono nadlew oraz zastosowano na jego powierzchni otulinę izolacyjną, co przedstawiono na rysunku 10. Umożliwia to wydłużenie czasu zasilania odlewu przez ciekłe staliwo z nadlewu. Dodatkowo dla poprawienia efektu wprowadzono dwa staliwne ochładzalniki, umiejscowienie ich pokazane na rysunku 9. Jeden umieszczono pod okiem głowicy, aby przesunąć węzeł cieplny w kierunku nadlewu. Drugi umiejscowiono przy obuchu Pollaxe, tak aby zwiększyć szybkość odprowadzania ciepła z węzła cieplnego. Zmieniono także przelew, którego oznaczono na rysunku 10 cyfrą 3, aby skuteczniej doprowadzić ciekły stop do listew. Zwiększenie nadlewu oraz dodanie ochładzalnika pod okiem głowicy skutecznie przemieściło węzeł cieplny do wnętrza nadlewu. Wynik przeprowadzonej symulacji uwzględniające wszystkie zmiany przedstawiono na rysunku 11.



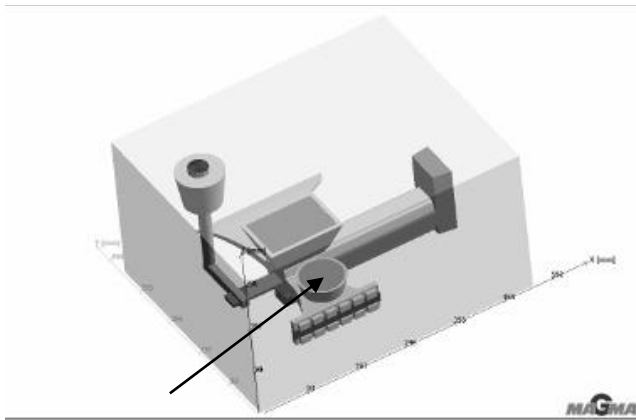
Rys. 11. Rozkład porowatości po wprowadzeniu modyfikacji do technologii wyściowej

Niestety dodanie ochładzalnika na obuchu widocznego na rysunku 10 okazało się niewystarczające. Porowatość w obuchu widoczna na rysunku 12, została oszacowana na poziomie około 30 %.



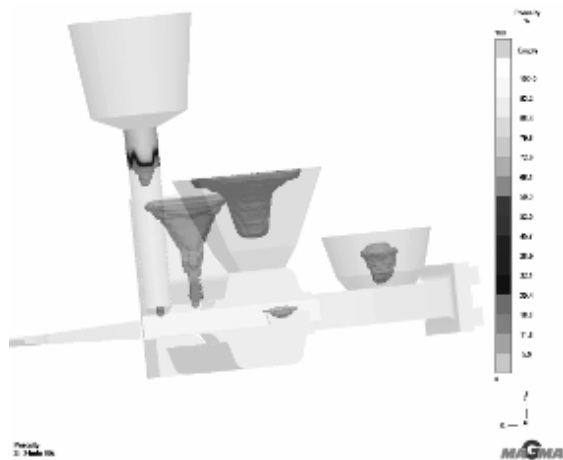
Rys. 12. Porowatości w licu ostrza

W kolejnym kroku zaproponowano dodanie drugiego nadlewu w miejscu porowatości w licu ostrza (rys. 11). Zapewni to zasilenie tej części odlewu w ciekły stop. Dodatkowo pokryto go otuliną, aby zapobiec zbyt szybkiemu zastygnięciu ciekłego staliwa w wąskiej szyjce nadlewu. Rozmiar szyjki nadlewu ograniczony jest przez stosunkowo małą ilość miejsca na powierzchni obucha. Nowy nadlew przedstawiono na rysunku 13.



Rys. 13. Końcowe założenie technologiczne

Zaproponowana technologia po przeprowadzeniu symulacji komputerowej dała pozytywny wynik. Drugi nadlew utrzymał temperaturę ciekłego stopu na wystarczająco wysokim poziomie, aby zasilił obuch głowicy i usunął wadę porowatości. Dodatkowo nowy nadlew nie wpłynął negatywnie na krzepnięcie odlewu w części oka głowicy. Na rysunku 14 pokazano porowatość w odlewie głowicy po zastosowaniu technologii odlewniczej, której założenia modelowe przedstawiono na rysunku 13.



Rys. 14. Rozkład porowatości

Zestawienie technologii wyjściowej i końcowej zaprezentowano w tabeli 2. Uwzględniono w niej również zmiany ilości użytego surowca, czyli uzysk przed i po zmianach. Masa całkowita odlewu w technologii końcowej wzrosła o 34,1% w porównaniu do technologii wyjściowej. Różnice pomiędzy uzyskiem początkowym a końcowym powstały przez odmienne technologie i zastosowanie dodatkowych elementów lub zmianą ich rozmiaru. Ilość jak i masę części składowych układu wlewowego, nadlewów jak i odlewu przedstawiono w tabeli 3.

Tabela 2. Dane dotyczące technologii odlewania

Nr	Dane	Technologia		Jedn.
		Wyjściowa	Końcowa	
1.	Masa odlewu	7,06		[kg]
2.	Masa całkowita odlewu	12,13	16,27	[kg]
3.	Uzysk	58,2	43,48	[%]
4.	Czas zalewania	10,84		[s]

Tabela 3. Różnice technologiczne pomiędzy rozwiązaniem technologicznym wyjściowym a końcowym

Nr	Dane	Ilość		Wartość [kg]	
		Tech. Wyjś.	Tech. Końc.	Tech. Wyjś.	Tech. Końc.
1	Odlew	1	1	7,06	7,06
2	Zbiorniki wlewowe	1	1	2,65	2,65
3	Wlewy główne	1	1	0,36	0,36
4	Wlewy rozprzewadzające	1	1	0,21	0,21
5	Wlewy doprowadzające	1	1	0,17	0,17
6	Nadlewy	1	2	1,27	4,44
7	Rdzenie	1	1	-----	-----
8	Otuliny	0	2	-----	-----
9	Ochładzalniki	0	2	-----	0,56
10	Przelewy	1	1	0,41	0,85

4. Wnioski

Podstawowym problemem mający ogromne znaczenie w opracowaniu poprawnej technologii wytworzenia Pollaxe jest zróżnicowana grubość ścianek. Dodatkowo kłopot sprawia zasilenie cienkościennych elementów lica, ostrza i listew oraz porowatość w grubościennych elementach obucha i oka głowicy. Kształt odlewu powodował krystalizację stopu z różną prędkością w poszczególnych elementach odlewu. Przy tak niskiej zawartości węgla jak w wytypowanym staliwie występuje wysokie ryzyko jam skurczowych stąd objętość obucha oraz oka głowicy wymagała odpowiedniego zasilania. Im mniejsza zawartość węgla tym większa skłonność do powstawania jam skurczowych. Stosując ochładzalniki i otulinę izolacyjną na nadlewach usunięto porowatość lokującą się w grubych częściach odlewu. Ochładzalniki wpłynęły na szybkość stygnięcia odlewu w dolnej partii oka głowicy, natomiast otulina utrzymywała dłużej w nadlewie staliwo w stanie ciekłym, co pozwoliło na niezakłócone zasilanie. Podwyższona zawartość manganu na poziomie 1,5% wpływa na właściwości wytrzymałościowe odlewu oraz podwyższa możliwości hartownicze. Patrząc na charakter użytkowy odlewu, obie cechy są bardzo pożądane. Zaproponowana technologia daje możliwość odlania głowicy Pollaxe bez wad i o wysokich właściwościach użytkowych. Umożliwia to przyspieszenie produkcji co jest odpowiedzią na wzrastające zapotrzebowanie rynku i daje możliwość uprzemysłowienia wytwarzania replik broni białej.

Literatura

- [1] Blair, M., Monroe, R.W. (2013). Upgrade to Forgings. Listopad 22:09 <http://www.sfsa.org/sfsa/pubs/cvf/ecs.php>Z.
- [2] Spoerl, S. (2013). A Brief History of Iron and Steel Production. Z <http://www.anselm.edu/homepage/dbanach/h-carnegie-steel.htm>.
- [3] Gierdziejewski. K. (1954). Zarys dziejów Odlewnictwa Polskiego. Stalinogród
- [4] Goranov, A. (2013). The Medieval Poleaxe, z http://www.myarmoury.com/feature_spot_poleaxe.html.
- [5] Dane z Wielkie Spisywanie Bagrita. (12 Listopad 2013 21:15) z <http://www.bagrit.pl/bractwa/bractwa.php?lg=pl>
- [6] Dane z Battle of Nations, (12 Listopad 2013 21:02) z <http://battleofthenations.ua>
- [7] Fajfar, P., Medved, J., Klančnik, G., Lazar, T., Nečemer, M. & Mrvar, P. (2013). Characterization of a Messer – The late Medieval single-edged sword of Central Europe. Material characterization, 86.
- [8] Ottaway, P. & Rogers, N. (2002). Crafts, Industry and Everyday Life: Finds from Medieval York. The Archeology of York. The Small Fields, 17/15, pp. 2765-2779.
- [9] Sánchez, L.G., Lafarga, A.A., Criado Martín, A.J., Criado Portal, A.J., Dietz, C. (2010). A contribution to the understanding of Solingen steel in the 19th.century. Prakt. Metallogr., 47 , pp. 220-221.
- [10] Głownia, J., Kalandyk, B., Zapala, R., Sobula, S., Tęcza, G., Malatyńska, P., Telejko, I., Brzeziński, M. (2010). Charakterystyka stali na odlewy. Kraków, Wydawnictwo AGH.
- [11] Fałęcki, Z. (1997). Analiza wad odlewów. Kraków, Wydawnictwo AGH.

Feasibility Assessment of Head Pollaxe Steel Cast Replica Using MAGMA Software

Abstract

Aim of this study was to evaluate the possibility of making steel Pollaxe head by replacing the time-consuming forging with casting technology. As part of research, a series of computer simulations aimed at optimizing and reducing the manufacturing costs of the head were made. Current work constitute a response to the growing demand for this type of replica edged weapons by museums and historical reenactment groups.