

ZAGADNIENIA TRWAŁOŚCI I NIEZAWODNOŚCI NARZĘDZI DO WTRYSKIWANIA TWORZYW SZTUCZNYCH

Marek JALBRZYKOWSKI*, Jerzy NACHIMOWICZ*

*Katedra Inżynierii Materiałowej i Technologii Maszyn, Politechnika Białostocka, Wydział Mechaniczny,
ul. Wiejska 45 C, 15-351 Białystok, Bianor Sp. z o.o., ul. Gen. Wł. Andersa 38, 15-118 Białystok,

*Katedra Budowy i Eksploatacji Maszyn, Politechnika Białostocka, Wydział Mechaniczny, ul. Wiejska 45 C, 15-351 Białystok

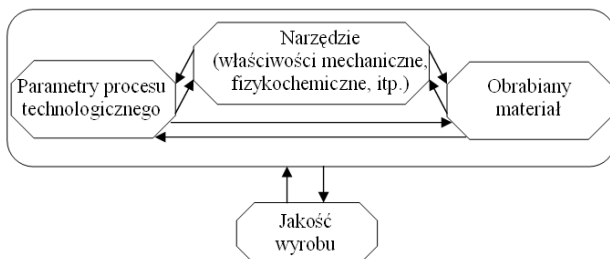
kolec@pb.edu.pl, nachim@pb.edu.pl

Streszczenie: W pracy przedstawiono wyniki analiz materiałowych oraz badań wybranych właściwości mechanicznych narzędzi do wtryskiwania tworzyw sztucznych. Do badań wykorzystano elementy formy wtryskowej, która była wykorzystywana w procesie produkcyjnym w firmie Bianor Sp. z o.o. Podstawą dla podjęcia badań, elementów roboczych narzędzi, była ich przedwczesna utrata stanu sprawności. Zwrócono uwagę na zmianę ocenianych właściwości mechanicznych, w odniesieniu do właściwości materiału wyjściowego, oraz na przedwczesne pęknięcia zmęczeniowe i możliwość modyfikacji fizykochemicznej warstwy wierzchniej analizowanych obszarów.

1. WSTĘP

Dowolny proces produkcyjny można podzielić, na wiele operacji i zabiegów, mających wpływ na jakość finalną produkowanych detali (Sobolewski, 1990; Zawistowski i Zięba, 1999). Wydają się przy tym, że jednym z najistotniejszych jest zbiór wzajemnych zdarzeń pomiędzy obrabianym materiałem, narzędziem i parametrami procesu technologicznego (rysunek 1).

Analizując przedstawiony na rysunku 1 węzeł technologiczny, pod kątem jakości finalnej wyrobu, można powiedzieć, że każdy ze wskazanych tam czynników ma istotne znaczenia dla tej jakości. W kontekście przetwarzania tworzyw sztucznych rodzaj obrabianego materiału jest z reguły czynnikiem niezależnym od wytwórcy, gdyż wynika z reżimu zlecniodawcy. Jednocześnie, z uwagi na indywidualne właściwości przetwarzanego tworzywa, odpowiednio dobrane parametry procesu technologicznego są wymuszone przez jego rodzaj (Zawistowski i Zięba, 1999).



Rys. 1. Uproszczony schemat wzajemnych zależności pomiędzy elementami procesu technologicznego

Również wielkość i geometria narzędzia oraz rodzaj materiału z jakiego są one wykonane są ściśle powiązane z wielkością i geometrią detalu finalnego i parametrami

przetwarzania tworzywa (Zawistowski i Zięba, 1999; Zawistowski i Frenklem, 1984; Dobrzański, 2007). Oznacza to że rola wtryskowni, w odniesieniu do jakości finalnej wyrobu, sprowadza się jedynie do kontroli, weryfikacji i ewentualnej korekty wspomnianych czynników technologicznego łańcucha powiązań.

Należy przy tym dodać, że o ile wystąpi konieczność regulacji parametrów procesu technologicznego, z uwagi np. na niezadowalającą jakość produkowanych detali, to korekta taka jest rzeczą naturalną, gdyż taka jest m.in. rola wtryskowni (Zawistowski i Zięba, 1999). Jednak brak jest możliwości ingerencji ze strony wtryskowni kiedy pojawiają się problemy związane z jakością użytkową wykorzystywanych narzędzi. Oczywiście wykonuje się przeglądy okresowe i naprawy bieżące tego typu narzędzi. Drobne usterki powstające po wykonaniu kilkudziesięciu tysięcy cykli są rzeczą zrozumiałą. Największe zdziwienie budzi fakt, kiedy uszkodzeniom ulegają narzędzia nowe.

Mając powyższe na uwadze, w niniejszej pracy poddano analizie elementy robocze formy wtryskowej, która uległa zniszczeniu przed upływem gwarantowanej, przez jej producenta, liczby cykli. Gwarantowana liczba cykli, to według producenta 1 milion. Wspomniana usterka wystąpiła po 25000 cykli pracy formy.

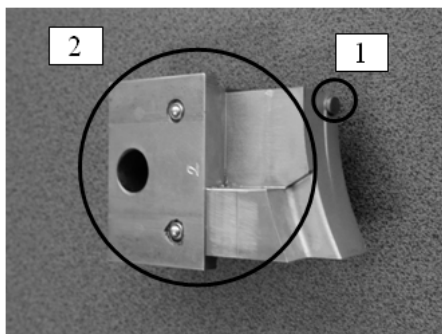
2. MATERIAŁY I METODYKA BADAŃ

Badaniom poddano komplet czterech suwaków formy wtryskowej. Z uwagi na ochronę danych osobowych oraz procedury patentowe nie ujawnia się tutaj producenta formy oraz nazwy detalu.

Do badań otrzymano rzeczywiste elementy robocze (rysunek 2). Ponieważ wszystkie analizy wykonywano na rzeczywistych elementach, to ze względu na brak możliwości przygotowania próbek zgodnie z normatywnymi badaniami (co groziło by całkowitemu zniszczeniu drogich

części), ich oceny materiałowej oraz badań właściwości mechanicznych dokonano na istotnych technologicznie rzeczywistych powierzchniach roboczych.

Badania analizowanych elementów dotyczyły: oceny składu chemicznego, mikrotwardości, twardości i obserwacji mikroskopowych wybranych, roboczych powierzchni suwaków (rysunek 2). Badania składu chemicznego oraz obserwacje mikroskopowe powierzchni roboczych przeprowadzono za pomocą mikroskopu skaningowego Hitachi S300N (Japonia) z przystawką do mikroanalizy rentgenowskiej firmy Quest Noran (USA). Mikrotwardość oceniano za pomocą mikroskopu optycznego Neophot 21 (Carl Zeiss Jena) z przystawką Hannemmana do badań mikrotwardości zgodnie z normą PN-71/H-04361. Badania twardości wykonano przy użyciu twardościomierza Rockwella typ PW-106 zgodnie z PN-86/85021.



Rys. 2. Widok przygotowanego do badań suwaka: 1 – trzpień kształtujący 2 – powierzchnie ślizgowe

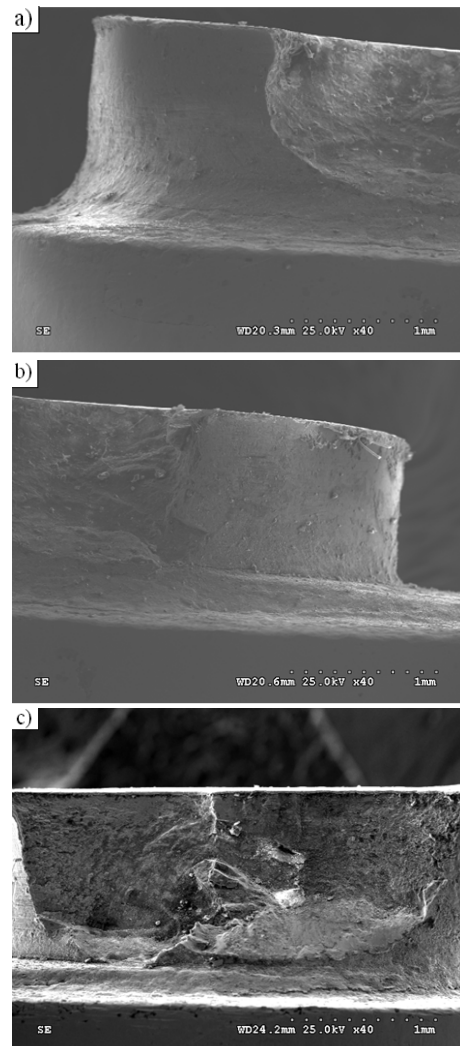
Przed przystąpieniem do analiz powierzchni robocze suwaków oczyszczono za pomocą płuczki ultradźwiękowej w acetonie, po czym suszono w strumieniu ciepłego powietrza przez okres 10 min. Jako powierzchnie robocze, do badań wytypowano powierzchnie trzpienia kształtującego 1 oraz powierzchnie ślizgowe 2 (rysunek 2). Należy dodać, że trzpień kształtujący 1 poddano analizie składu chemicznego, badaniom mikrotwardości oraz przeprowadzono obserwacje mikroskopowe jego powierzchni. Płaszczyzny ślizgowe 2 oceniano jedynie pod kątem ich twardości.

Po wstępnych testach do dalszych analiz wybrano trzpień kształtujący 1. Należy tutaj zaznaczyć, że wybór trzpienia kształtującego jako ostatecznego obiektu badań, nie był przypadkowy. Spośród czterech, uzyskanych do badań suwaków, trzy zakwalifikowano jako niewadliwe i „sprawne” technologicznie. Jeden z suwaków określono jako wadliwy z uwagi na zniszczony trzpień kształtujący.

3. WYNIKI BADAŃ

Jak wspomniano wcześniej, już w oględzinach ogólnych stwierdzono defekt trzpienia kształtującego, na jednym z suwaków. Jego zniszczenie potwierdzono w obserwacjach mikroskopowych. Na rysunku 3 przedstawiono widok powierzchni walcowej trzpienia kształtującego z wyraźnymi widocznymi wykruszeniami. Na tym etapie badań nie analizowano możliwych przyczyn wystąpienia takich wykruszeń.

Kierowano się jednak faktem, że producent zapewnił (udzielił gwarancji) o „żywności” formy i jej elementów składowych dla 1 miliona cykli. Powstałe wady wystąpiły po wykonaniu 25 000 wyprasek.

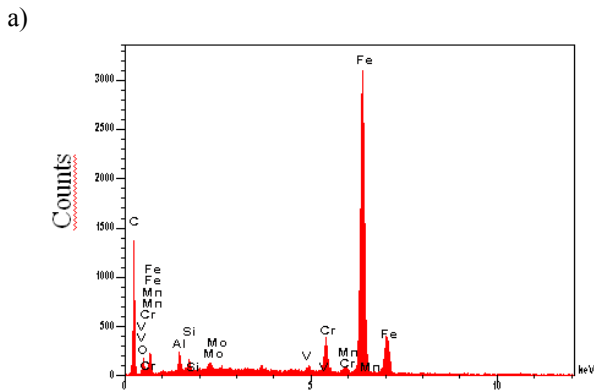


Rys. 3. Widok zniszczonej powierzchni walcowej trzpienia kształtującego: a) od strony lewej, b) od strony prawej, c) w pełnym ujęciu

Fakt tak niskiej „żywności” suwaków roboczych formy, skłonił do głębszych analiz przyczyn wystąpienia takich defektów. Rozwiązania tego problemu poszukiwano w badaniach składu chemicznego, analizie morfologii powierzchni zniszczonego suwaka oraz w badaniach mikrotwardości. Przykładowe wyniki badań składu chemicznego, zniszczonej powierzchni trzpienia kształtującego, zamieszczono na rysunku 4.

Przedstawione wyniki badań zawartości i procentowego udziału badanych pierwiastków, mogą być dużym zaskoczeniem, szczególnie w przypadku obecności aluminium w warstwie wierzchniej badanego trzpienia. Należy tutaj podkreślić, że obecność aluminium (w ilości ponad 1%) potwierdzono kilkakrotnie, powtarzając mikroanalizę rentgenowską w innych miejscach analizowanych obszarów. Obecność Al w ilości dziesiątych części procenta można by traktować, jako błąd pomiaru. Jednak tak duża zawar-

tość Al, jak wynika z wykonanych analiz, może wzbudzać podejrzenia. Sytuacja taka mogła być spowodowana przez wiele czynników, np. przez modyfikację fizykochemiczną warstwy wierzchniej narzędzia, w wyniku długotrwałego jej kontaktu z aluminium. Mogło to doprowadzić, szczególnie kiedy w przypadku narzędzi tego typu dochodzi czynnik podwyższonej temperatury, do dyfuzji aluminium w warstwę wierzchnią trzpienia. Można też podejrzewać, że do budowy formy zastosowano materiał innego gatunku. Inną jeszcze możliwością jest to, że materiał który zastosowano do wykonania formy wcześniej był już eksploatowany o czym może świadczyć zmniejszona zawartość molibdenu i krzemu. W wyniku długotrwałej, wcześniejszej eksploatacji materiału z którego wykonano narzędzie i warunków jego pracy, mogło dochodzić do migracji atomów w kierunku warstwy wierzchniej, co ostatecznie może objawić się zmniejszoną zawartością dodatków stopowych.



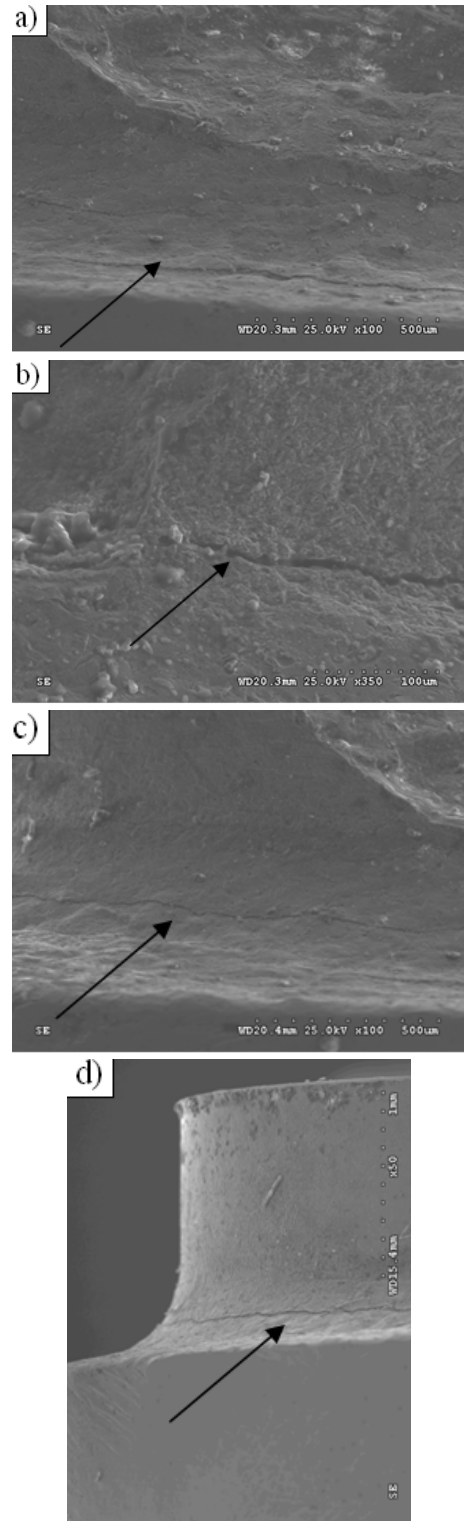
Elt	Wg pomiarów [% mas]	Wg informacji producenta	Wg normy PN-86/H-85021
Al	1.27	-	-
Si	0.51	1,0	0,8 – 1,2
V	0.86	0,9	0,8 – 1,1
Cr	4.92	5,2	4,5 – 5,5
Mn	0.54	0,4	0,2 – 0,5
Mo	0.60	1,4	1,2 – 1,5
Fe	91.31	reszta	reszta
	100.00	100.00	

Rys. 4. Wyniki badań składu chemicznego zniszczonej powierzchni suwaka: a) rozkład pierwiastków, b) zawartość pierwiastków – % mas.

Należy jeszcze raz podkreślić, że wyniki mikroanalizy rentgenowskiej wskazały, w odniesieniu do wszystkich pierwiastków stopowych, zarówno na mniejszą jak też większą ich zawartość w porównaniu do opisów technologicznych dostarczonych przez producenta.

Po badaniach składu chemicznego wykonano obserwacje mikroskopowe powierzchni całego trzpienia. Na rysunkach 5 i 6 przedstawiono wyniki tych analiz. Zamieszczone fotografie w sposób bezpośredni ujawniają deformowaną strukturę warstwy wierzchniej trzpienia kształtującego. Należy dodać, że powstałe pęknięcia ujawniono na powierzchniach zarówno zniszczonego suwaka (wykruszony trzpień – rysunek 3 i 5), jak też na powierzchni suwaków „sprawnych” (rysunek 6). Istotnym faktem jest to, iż produ-

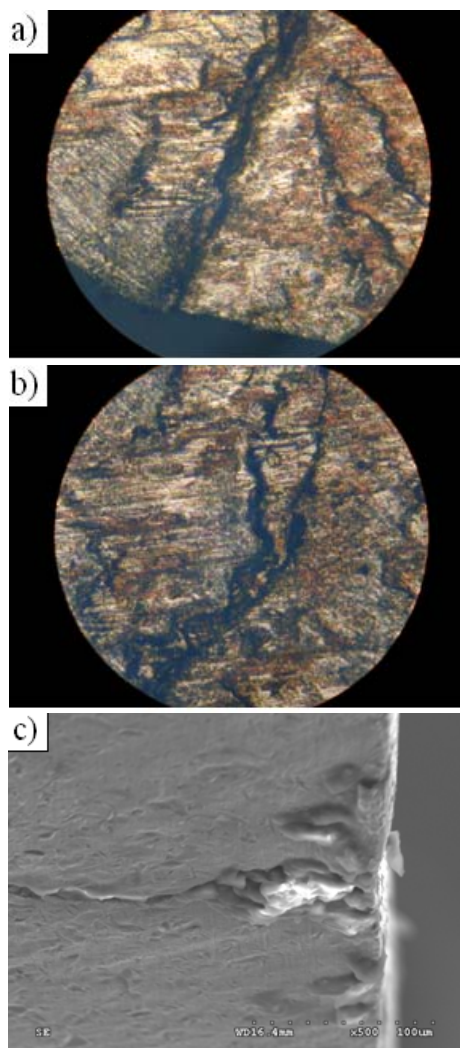
cent zapewnił o niezawodności i trwałości swojego produktu dla minimalnej ilości cykli równej 1 milion. Powstałe wady zauważono po wykonaniu 25000 cykli, a więc po upływie zaledwie 1/40 gwarantowanego okresu „żywności” wykonanej formy.



Rys. 5. Widok powierzchni walcowej trzpienia kształtującego z wyraźnie widocznymi śladami pęknięć

Rysunek 6 ilustruje powierzchnię „sprawnego” trzpienia kształtującego. Zamieszczone rysunki wyraźnie wskazują

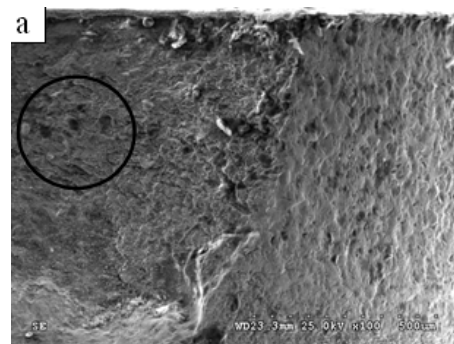
na pęknięcia w powierzchni zarówno czołowej jak i walcowej tego trzpienia. Oznacza to, że prawdopodobnie tuż po uruchomieniu produkcji z wykorzystaniem tego elementu, który określono jako „sprawny”, w krótkim czasie, dojdzie do jego zniszczenia.



Rys. 6. Widok powierzchni „sprawnego” trzpienia kształtującego: a) powierzchnia czołowa – wyraźne pęknięcie – od brzegu trzpienia (pow. x 100), b) powierzchnia czołowa – wyraźne pęknięcie – środek trzpienia (pow. x 100), c) powierzchnia boczna – przejście pęknięcia przez całą powierzchnię czołową aż na powierzchnię boczną

Innym aspektem obserwacji mikroskopowych jest porowata struktura analizowanego trzpienia. Na rysunku 7 przedstawiono widok takiej powierzchni. Zamieszczone zdjęcie już przy powiększeniu x 100 ujawnia porowatą strukturę warstwy wierzchniej i podpowierzchniowej obserwowanego elementu. Dodatkowo obserwowano miejscowe skupiska dziur strukturalnych (rysunek 7, szczegół a). Może to być wynikiem występowania lokalnych zagęszczeń nierozpuszczonych w roztworze stałym węglików stopowych typu MC (jednak tego nie badano) oraz świadczyć o niejednorodności strukturalnej ale również niejednorodności właściwości mechanicznych badanego materiału. Mając to na uwadze wykonano badania mikrotwardości i twardości powierzchni roboczych trzpienia oraz po-

wierzchni ślizgowych 2 pokazanych na rysunku 2. Wyniki badań mikrotwardości dostarczyły informacji o zróżnicowanej mikrotwardości powierzchni czołowej trzpienia kształtującego. Poziom mikrotwardości dla HV_{0,1} wahał się w przedziale od 300 do 880 HV. Co oznacza trzykrotne różnice w poziomie mikrotwardości i oczywiście wskazuje na niejednorodność właściwości mechanicznych badanego materiału. Może to być wynikiem albo wadliwie przeprowadzonej obróbki cieplnej materiału konstrukcyjnego albo było spowodowane jego lokalnym odpuszczeniem podczas eksploatacji i spadkiem mikrotwardości. Odnosząc się do warunków pracy analizowanej formy wtryskowej – temperatura pracy formy wynosi ok. 80°C, można więc być pewnym, że nie grozi to odpuszczeniem materiału. Dodatkowym potwierdzeniem mniejszej twardości materiału suwaków niż to wynika z doniesień producenta (min. 48 HRC), są badania twardości wykonane na powierzchniach ślizgowych suwaka. Według testów twardości powierzchnie suwaka miały twardość ok. 42 HRC, co jest wynikiem poniżej dolnej minimalnej twardości wynikającej z dokumentacji technologicznej dostarczonej przez producenta.



Rys. 7. Widok powierzchni walcowej trzpienia wykuszzonego

Ponadto należy tu wspomnieć o zmniejszonej zawartości pierwiastków stopowych – molibdenu i krzemu, które to wpływają na twardość materiału. Na ich zmniejszoną zawartość, w odniesieniu do informacji producenta, wskazano w badaniach mikroanalizy rentgenowskiej (rysunek 4b).

4. WNIOSKI

Podsumowując można stwierdzić ogólne zróżnicowanie składu chemicznego oraz właściwości mechanicznych badanych elementów w odniesieniu do informacji producenta. Oprócz istotnych rozbieżności w składzie procentowym pierwiastków stopowych, zwrócono uwagę na występowanie w strukturze warstwy wierzchniej pierwiastków „przypadkowych”. Zastanawiający jednak jest ich znaczący udział procentowy rzędu 1,3 %.

Wykonane badania mikrotwardości i twardości wskazują na dużą zmienność tych cech na niewielkich obszarach pomiarowych. Jednocześnie stwierdzono mniejszą twardość powierzchni ślizgowych suwaka w odniesieniu do danych technologicznych uzyskanych od producenta.

Obserwacje mikroskopowe powierzchni trzpienia kształtującego ujawniły porowatą strukturę warstwy

wierzchniej i podpowierzchniowej. Wykonano szereg testów, które potwierdzają wszystkie powyższe spostrzeżenia.

Na podstawie przeprowadzonych badań oraz ich analizy sformułowano następujące wnioski:

1. Stwierdzono dużo niższą trwałość eksploatacyjną – 25000 cykli elementów roboczych formy CG2 w stosunku do gwarantowanej przez producenta liczby cykli – 1 milion.
2. Powstałe defekty typu wykruszenia i pęknięcia obserwowano zarówno na zniszczonych powierzchniach analizowanych elementów, jak i na powierzchniach elementów „sprawnych”.
3. Stwierdzono znaczne różnice składu chemicznego oraz twardości (w odniesieniu do informacji technologicznej producenta) materiału, z którego wykonano analizowane elementy. Fakt, ten może świadczyć o zastosowaniu, do budowy formy i jej elementów roboczych, innego materiału niż to zakładano. Może też być to wynikiem wykorzystania do budowy formy materiału przepracowanego – wyeksploatowanego, lub może to być wynikiem błędnie przeprowadzonych zabiegów ulepszenia cieplnego.
4. Obserwacje mikroskopowe powierzchni roboczych oraz przelomów materiału ujawniły porowatą strukturę badanych elementów. Może mieć to istotne znaczenie i wpływ na ogólny poziom właściwości mechanicznych materiału.
5. Wszystkie wymienione w niniejszym opisie nieprawidłowości, bez wątpienia, mogły mieć wpływ na przedwczesne zniszczenie elementów roboczych formy CG2.

LITERATURA

1. **Dobrzański L. A.** (2007), *Wprowadzenie do nauki o materiałach*, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice.
2. **Sobolewski K.** (1990), *Podstawy organizacji procesu produkcyjnego*, Politechnika Koszalińska, Koszalin.
3. **Zawistowski H., Frenkler D.** (1984), *Konstrukcja form wtryskowych do tworzyw termoplastycznych*, WNT, Warszawa.
4. **Zawistowski H., Zięba Sz.** (1999), *Ustawianie procesu wtrysku*, Wydawnictwo Plastech, Warszawa..

THE PROBLEMS OF RELIABILITY AND DURABILITY OF TOOLS FOR THE INJECTION OF PLASTIC MATERIALS

Abstract: At work there are presented results of material analysis of selected mechanical properties of the tools used for plastic injection. There were used the elements of the injection moulding tool used in production process at the company Bianor Sp. z o.o. The basis of the checkout was premature consumption of the tool and loss of its efficiency. The attention was paid to changes in the observed mechanical properties and premature cracks and possibilities of physical and chemical modification of the surface of the checked parts.