

	Organizatorzy: Politechnika Łódzka Wydział Mechaniczny	XXXVIII NAUKOWA SZKOŁA OBRÓBKİ ŚCIERNEJ Łódź - Uniejów 09-11.09.2015	
	• Instytut Obrabiarek i Technologii Budowy Maszyn • Katedra Technologii Maszyn		

Wpływ przyspieszenia kąowego ściernic do przecinania na ich wytrzymałość na rozerwanie

The influence of angular acceleration on breaking strength of cut-off wheels

RYSZARD DĘBKOWSKI
MIROSLAW URBAŃIAK *

DOI: 10.17814/mechanik.2015.8-9.349

W artykule opisano zagadnienie wpływu przyspieszenia kąowego na wynik badania wytrzymałości na rozerwanie żywicnych ściernic do przecinania. Zaprezentowano przegląd literatury wskazujący, że polimerowe kompozyty wzmacniane włóknami wykazują wzrost wytrzymałości przy wyższych prędkościach odkształceń. Przedstawiono sposób realizacji i wyniki badań wytrzymałości ściernic, w których uwzględniono zmianę szybkości wzrostu obciążania siłą odśrodkową. Sformułowano wnioski dotyczące wpływu przyspieszenia kąowego ściernic na ich wytrzymałość.

SŁOWA KLUCZOWE: ściernice do przecinania, prędkość odkształceń, wytrzymałość na rozerwanie

The article describes the influence of the angular acceleration on the test result of the breaking strength of the resin cut-off wheel. It presents a review of the literature indicates that fiber-reinforced polymer composites show an increase in strength with increasing strain rate. The way of conducting the study on the grinding wheel strength and its results are presented. The studies included changing the growth rate of the load by the centrifugal force. The conclusions concerning the impact of the angular acceleration on the strength of cut-off wheels are presented.

KEYWORDS: cut-off wheels, strain rate, bursting speed, strength

Wprowadzenie

Bardzo istotnym zagadnieniem związanym z eksploatacją ściernic jest zapewnienie bezpieczeństwa użytkownikom. Problematyka ta dotyczy zarówno producentów tego typu narzędzi, producentów maszyn do ich użytkowania jak też osób projektujących, organizujących i realizujących operacje szlifowania ściernicowego. Zgodnie z prawem UE

wytwórcy mogą wprowadzać do obrotu na rynku UE tylko te produkty, które gwarantują wysoki poziom bezpieczeństwa. Producenci ściernic winni zapewnić odpowiednią wytrzymałość narzędzi, która we wskazanych warunkach pracy nie dopuści do ich zniszczenia.

Jednym z parametrów, którym producenci ograniczają dowolny sposób użytkowania ściernic jest największa prędkość robocza. W odniesieniu do niej norma EN-12413 [1] określa minimalną wartość współczynnika bezpieczeństwa S_{br} (1) ze względu na rozerwanie pod działaniem siły odśrodkowej, którą winna zapewnić konstrukcja i technologia wykonania ściernic.

$$S_{br} = \left(\frac{v_{br}}{v_s} \right)^2 \quad (1)$$

gdzie: v_{br} – prędkość rozerwania, v_s – największa prędkość robocza.

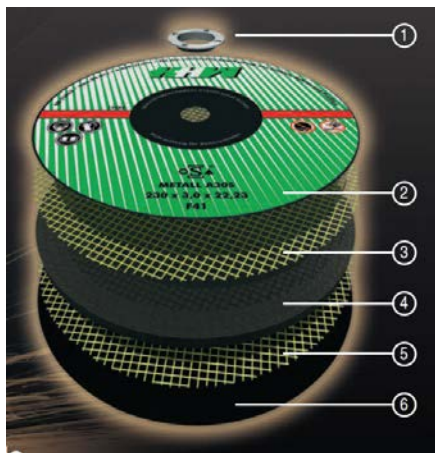
Weryfikację osiąganego przez wyprodukowane narzędzia współczynnika bezpieczeństwa (wymagana wartość zależy od typu ściernicy i mieści się w granicach 1,75÷3,5) przeprowadza się testami wytrzymałości wykonywanymi na rozrywarkach do ściernic. Zgodnie z w/w normą próby należy prowadzić obciążając ściernicę siłą odśrodkową wywołaną równomiernie wzrastającą prędkością obrotową wrzeczona rozrywarki. Norma nie wskazuje wartości ani nie precyzuje zakresu przyspieszeń, z jakimi należy osiągnąć prędkość rozerwania. Należy zauważyć, że równomierny wzrost prędkości można osiągnąć zarówno w skrajnie krótkim jak i skrajnie długim czasie. W pierwszym, raczej teoretycznym przypadku można w ogóle nie uzyskać stanu obciążenia ściernicy siłą odśrodkową, gdyż może ona ulec uszkodzeniu już w czasie rozruchu zbyt gwałtownie pokonującego jej moment bezwładności. W drugim natomiast stan obciążenia siłą odśrodkową może trwać istotnie długo, wywołując zjawiska wpływające na wytrzymałość narzędzia.

* dr inż. Ryszard Dębowski (ryszard.debkowski@p.lodz.pl)
prof. dr hab. inż. Mirosław Urbaniak (miroslaw.urbaniak@p.lodz.pl)

Zagadnienie określenia przyspieszenia kąowego, z jakim należy rozpędzać ściernice do osiągnięcia prędkości rozerwania, wydaje się być zagadnieniem ważnym. Występująca zależność właściwości mechanicznych kompozytów polimerowych zbrojonych włóknami, jakimi są ściernice do przecinania, od prędkości z jaką są odkształcane może być bowiem przyczyną rozbieżności wyników oceny ich wytrzymałości otrzymanych w różnych laboratoriach.

■ Konstrukcja ściernic do przecinania

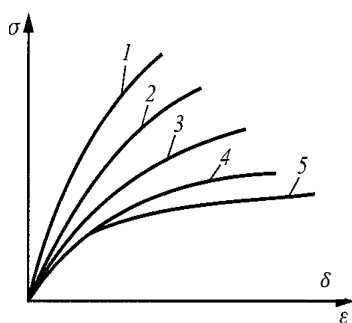
Typową budowę ściernic do przecinania przedstawia rysunek 1. Pomiędzy siatkami z włókna szklanego znajduje się warstwa ścierna zbudowana z ziaren materiału ściernego oraz spoiwa żywicznego. W strukturze tej siatka pełni rolę zbrojenia, natomiast warstwa ścierna jest osnową. Wytrzymałość ściernicy zależy od wytrzymałości włókien zbrojenia, wytrzymałości osnowy oraz wytrzymałości połączenia włókna z osnową (adhezji).



Rys. 1. Budowa ściernic do przecinania 1 – pierścień metalowy, 2 – papierowa etykieta, 3,5 – siatka z włókna szklanego, 4 – mieszanina ziaren ściernych i żywicy, 6 – papier [2]

Włókna szklane cechuje wysoka wytrzymałość na rozciąganie. Podczas obciążenia włókien nie obserwuje się zjawiska pełzania a przy ich odciążeniu następuje tzw. sprężysty nawrót (co świadczy o braku odkształceń plastycznych lub lepkosprężystych) [3].

Warstwa ścierna w roli osnowy zapewnia warstwowość kompozytu oraz kształt ściernicy, przenosi działające naprężenia na zbrojenie, a w przypadku zniszczenia włókien, przekazuje obciążenia na pozostałe włókna.



Rys. 2. Zależność naprężeń σ od odkształcenia δ dla polimerów sprężystych odkształcanych z różnymi prędkościami. Krzywe od 1 do 5 odpowiadają malejącej prędkości odkształcania [4].

Jako spoiwa w ściernicach do przecinania stosuje się zwykle żywice fenolowe, które dzięki niskiej temp. utwardzania (ok.200°C) mogą być zbrojone siatkami z włókien

szklanych. Jedną z istotnych cech żywic fenolowych, tak jak i innych polimerów, jest wzrost wytrzymałości oraz modułu sprężystości przy wyższych prędkościach odkształceń – rys.2 [4].

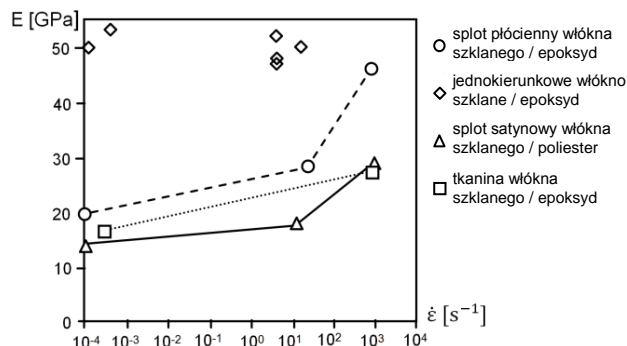
Wpływ prędkości odkształceń na wytrzymałość polimerowych kompozytów wzmacnianych włóknami

Prędkość odkształceń w badaniach właściwości mechanicznych kompozytów pod wpływem obciążeń dynamicznych jest określana równaniem (2):

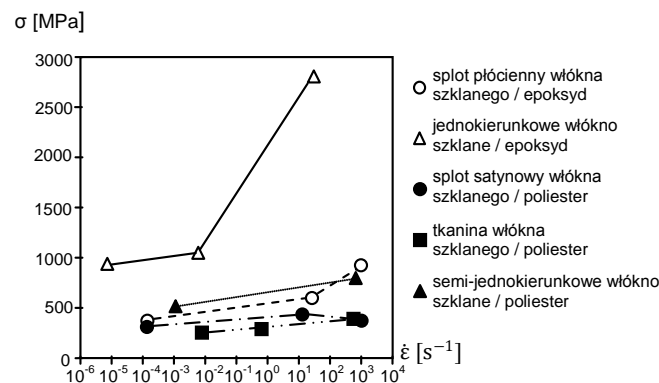
$$\dot{\epsilon} = \frac{v(t)}{L_0} \quad [s^{-1}] \quad (2)$$

gdzie: $\dot{\epsilon}$ – prędkość odkształceń, $v(t)$ – prędkość wzajemnego oddalania się końców, L_0 – długość początkowa.

Wyniki badań doświadczalnych przedstawionych w wielu pracach naukowych [5÷11] wykazują, że na mechaniczne właściwości kompozytów istotny wpływ ma prędkość odkształceń. W [5], przed prezentacją własnych osiągnięć, autorzy przedstawili szeroki przegląd literatury, który w sposób syntetyczny ujmuje rezultaty badań modułu Younga E, wytrzymałości na rozciąganie oraz wytrzymałości na ściskanie dla różnych prędkości odkształcania kompozytów zbudowanych z różnej postaci (np. płótno, tkanina o splocie satynowym) i rodzaju materiału wzmocnienia (kevlar, włókno węglowe, włókno szklane) oraz osnow z żywicy poliesterowych i epoksydowych. W większości analizowanych przypadków odnotowano wzrost modułu E i naprężeń σ niszczących kompozyt. Procentowy wzrost tych wskaźników w stosunku do obciążeń statycznych był zróżnicowany dla poszczególnych typów kompozytów. Przykładowe zakresy zmian tych parametrów prezentują rysunki 3 i 4.



Rys. 3. Wpływ prędkości odkształceń na moduł sprężystości kompozytów włókno szklane/epoksyd, włókno szklane/poliester [5].



Rys. 4. Wpływ prędkości odkształceń na naprężenia niszczące kompozytów włókno szklane/epoksyd, włókno szklane/poliester [5].

Badanie właściwości kompozytów włókno szklane/żywica poliesterowa w warunkach różnych temperatur i prędkości

odkształceń wraz z próbą ujęcia stwierdzonych zmian matematycznym związkiem można znaleźć w [6]. Spadek wskaźników wytrzymałościowych w funkcji temperatury ($203\pm 343\text{K}$) autorzy proponują opisywać funkcją liniową o współczynnikach określonych na podstawie danych doświadczalnych aproksymowanych metodą najmniejszych kwadratów. Natomiast zaobserwowany w badaniach doświadczalnych wzrost wytrzymałości kompozytu przy większych prędkościach odkształceń (badano zakres $10^{-4}\div 5\cdot 10^{-2}\text{ s}^{-1}$) autorzy opisali funkcją iloczynu stałej i potęgi prędkości odkształceń. Wartości stałej i wykładnika potęgi są uzależnione od temperatury kompozytu i wyznaczone empirycznie.

W [7] opisano badania laminatów z włókien węglowych i żywicy epoksydowej, w których warstwy włókien zostały zorientowane pod różnymi kątami. Zachowanie laminatów testowano stosując trzy prędkości odkształceń $5\cdot 10^{-5}$, 1 i 400 s^{-1} . Wyniki doświadczeń wskazały, że prędkość odkształceń znacząco wpływa na odpowiedź układu włókno/epoksyd. We wszystkich badanych konfiguracjach obserwuje się wyższą sztywność przy wyższej prędkości odkształcania. Niewielki wzrost maksymalnego naprężenia wraz ze wzrostem prędkości odkształcania zaobserwowano w badaniach próbek z warstwami 90° i 10° , a znaczący w próbkach z warstwami 45° i 45°S . Ponadto stwierdzono, że laminat 45°S osiągnął najwyższe odkształcenie we wszystkich testach prędkości odkształceń.

W badaniach, którym poświęcona jest praca [10] określano wpływ prędkości odkształcania na wskaźniki wytrzymałości na zginanie kompozytów żywicy fenolowej wzmocnionej tkaniną z włókna bazaltowego, włókna węglowego oraz tymi dwiema tkaninami jednocześnie. Testy przeprowadzono z prędkościami odkształcania wynoszącymi $0,03\text{min}^{-1}$, $0,06\text{min}^{-1}$ i $0,09\text{min}^{-1}$, a więc znacznie niższymi w stosunku do opisywanych wcześniej. Wyniki doświadczeń wykazały, że wytrzymałość na zginanie trzech rodzajów materiałów kompozytowych jest wyższa w warunkach większej szybkości ich odkształcania. Wzrost wytrzymałości wyniósł ok. 16% dla kompozytu zbudowanego z włókna węglowego w osnowie z żywicy fenolowej.

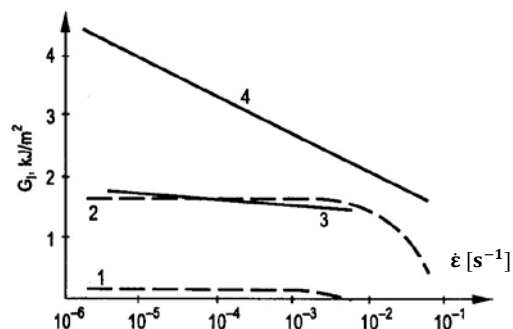
Autorzy w pracy [5] rozszerzyli wiedzę na temat zachowania kompozytów pod wpływem dużej prędkości odkształceń prezentując wyniki badań własnych, dotyczących kompozytów żywic fenolowych wzmocnianych włóknem szklanym poddanym odkształceniom z prędkościami z zakresu $10^{-4}\div 6\text{ s}^{-1}$. Rezultaty tych badań są o tyle istotne, że dotyczą takich samych materiałów, jakie są wykorzystywane także w budowie ściernic do przecinania. Postacie wzmocnień badanych kompozytów nie miały takiej samej struktury jak siatki zbrojące ściernice, a były to: płótno z rovingu, tkanina ze splotem satynowym, dwukierunkowe wzmocnienie symetryczne $+45^\circ/-45^\circ$. Przedstawione wyniki wykazały istotny wzrost modułu E dla wszystkich postaci wzmocnień materiału, gdy wskaźnik prędkości odkształceń ma wartość powyżej 10 s^{-1} . Wartość naprężeń niszczących ulegała powiększeniu wraz ze wzrostem prędkości odkształceń, jednak jej dynamika była różna dla poszczególnych układów kompozytu włókno szklane/żywica fenolowa. Oba badane parametry wytrzymałościowe uległy największemu wzrostowi dla kompozytu wzmocnionego płótnem z rovingu (90%osnowy, 10%wątku).

Podsumowanie wiedzy o wpływie prędkości odkształcania na mechaniczne właściwości kompozytów polimero-wych, dostępnej w publikacjach naukowych do roku 2004, można znaleźć w [8]. Jak wynika z przedstawionego tam zestawienia wszystkie kompozyty, w których jako wzmocnienia użyto włókien szklanych, charakteryzowały się pod-

wyższymi właściwościami wytrzymałościowymi podczas odkształcania z wyższymi prędkościami.

Dynamiczne właściwości wytrzymałościowe kompozytu żywicy fenolowej wzmocnionej włóknem szklanym w postaci tkaniny o splotie satynowym ułożonej na dwa sposoby: warstwami równoległe oraz warstwami obróconymi względem siebie pod kątem $\pm 45^\circ$, opisano w [9]. Efektem zastosowania wysokich prędkości odkształceń ($10\div 300\text{ s}^{-1}$) był 80% wzrost w stosunku do obciążeń statycznych (dla których prędkość odkształceń wynosi 10^{-4} s^{-1}) wytrzymałości na rozciąganie kompozytu z ułożonymi równoległe względem siebie warstwami wzmocnienia. Kompozyt symetryczny, zastosowany do oceny wytrzymałości na ścinanie, w takich samych warunkach obciążeń, wykazał ok. 30% wzrost wytrzymałości. Autorzy wskazali, że graniczna wartość prędkości odkształceń kompozytu włókno szklane/żywica fenolowa, przy której następuje wzrost wskaźników wytrzymałościowych, wynosi 1 s^{-1} .

Właściwości mechaniczne kompozytów rozpatruje się także biorąc pod uwagę ich odporność na pękanie. Szczególnie jest to istotne dla materiałów kompozytowych, które w swej strukturze posiadają pustki i pęcherze. Uznaje się, że rozwój pęknięcia w kompozytach wzmocnionych włóknami jest zapoczątkowany pękaniem osnowy dalej następuje dekohezja wiązania polimeru z włóknami a na końcu następuje zerwanie włókien. W przypadku kompozytów warstwowych rozwój pęknięcia następuje pomiędzy warstwami (delaminacja). W [11] wskazano, że na delaminację kompozytu istotny wpływ wywiera prędkość jego odkształcania. Badaniem rozwoju pęknięć międzywarstwowych poddano kilka kompozytów o różnych osnowach termoplastycznych wzmocnianych włóknem grafitowym. Rozrywanie warstw kompozytu z coraz większymi prędkościami odkształcania wykazało spadek współczynnika uwalniania energii G_I (określanego zmianą energii potencjalnej układu w wyniku przyrostu długości szczeliny w czystym rozrywaniu), charakteryzującego opór materiału na pękanie (rysunek 5).



Rys. 5. Zależność G_I od prędkości odkształcania $\dot{\epsilon}$ dla kompozytów warstwowych 1 – grafit/epoksyd, 3 – grafit/osnowa o wysokich właściwościach mechanicznych, 4 – grafit/PEEK oraz 2 – żywicy termoplastycznej [11].

Mając na uwadze powyższe doniesienia literaturowe oraz warunki przeprowadzania badań wytrzymałości na rozrywanie ściernic do przecinania, produkowanych jako kompozyt osnowy żywiczno-ściernic i siatki z włókna szklanego można stwierdzić, że istnieje duże prawdopodobieństwo wpływu przyspieszenia kątownego ściernicy na osiąganą prędkość rozerwania v_{br} . W przytoczonych przykładach kompozyty wzmocnione włóknem szklanym, niezależnie od zastosowanego materiału osnowy, posiadały tym wyższe własności wytrzymałościowe im większa była ich prędkość odkształcania. Należy zwrócić uwagę, że opisane w literaturze badania dotyczyły kompozytów, których osnowy były materiałami jednorodnymi, natomiast osnowa, którą w ściernicy jest warstwa ścierna, zawiera w swojej budowie

nieciągłości w postaci ziaren ściernych i pustek porów. Może to powodować odmienną, w stosunku do cytowanych wyników, reakcję narzędzia na szybkie odkształcanie. Jak okazało się z badań przedstawionych w [11], przy coraz wyższej prędkości odkształcania kompozytu, nieciągłości jego budowy powodowały obniżenie wytrzymałości na delaminację warstw. Należy jednak zauważyć, że przedstawione wyniki charakteryzują właściwości laminatu obciążanego siłą prostopadłą do powierzchni warstw (badanie prowadzone na próbce typu DCB). Jest to sposób obciążenia odmienny w stosunku do występującego podczas próby wytrzymałości ściernicy na rozrywanie, w której siła odśrodkowa oddziałuje równoległe a nie prostopadle do płaszczyzny warstwy.

Biorąc powyższe pod uwagę podjęto badania mające na celu ocenę, na ile szybkość rozpędzania ściernicy, a co za tym idzie szybkość jej odkształcania, ma wpływ na uzyskiwaną wartość prędkości rozerwania w testach wytrzymałościowych.

Badania doświadczalne

Przed rozpoczęciem badań wykonano obliczenia mające na celu oszacowanie, przy jakiej wartości przyspieszenia podczas rozruchu istnieje prawdopodobieństwo zniszczenia ściernicy na skutek zbyt szybkiego pokonywania jej momentu bezwładności. Zbyt duże przyspieszenie mogłoby doprowadzić do ścięcia materiału ściernicy w okolicy średnicy zewnętrznej nakrętki mocującej. Do obliczeń zostały zastosowane wzory 3-7 mechaniki ruchu obrotowego.

$$\varepsilon = \frac{M}{J} \quad (3)$$

$$F = \frac{\varepsilon J}{r} \quad (4)$$

$$\sigma = \frac{\varepsilon \cdot J}{g \cdot 2\pi r^2} \quad (5)$$

$$J = \frac{1}{2}m(r^2 + R^2) \quad (6)$$

$$\varepsilon = \frac{4\pi g r^2 \sigma}{m(r^2 + R^2)} \quad (7)$$

gdzie: ε – przyspieszenie kątowe, M – moment rozruchowy; J – moment bezwładności tarczy, F – siła styczna, r – promień działania siły F , σ – naprężenia tnące, g – grubość ściernicy, m – masa pierścienia ściernicy.

Dla ściernicy płaskiej (typ 41) do przecinania o wymiarach $125 \times 2,5 \times 22,2$ wartość przyspieszenia kąowego, przy którym może wystąpić ścięcie materiału ściernicy na okręgu o średnicy 40mm (średnica nakrętki szlifierki kątovej), wynosi ok. 71 500 obr./s². W obliczeniach przyjęto przybliżoną wartość wytrzymałości materiału ściernicy na ścinanie. Jak wynika z badań przedstawionych w [13], wytrzymałość na rozrywanie R_m próbek kompozytów ściernicy do przecinania, badanych na maszynie wytrzymałościowej zależy od zorientowania względem siebie siatek wzmacniających oraz kierunku przykładania obciążenia zrywającego względem tych siatek. Wyznaczona w badaniach wytrzymałościowych wartość R_m dla różnych konfiguracji ww czynników wahała się w zakresie 20÷32 MPa. W cytowanej pracy wartość maksymalnych naprężeń ścinających kompozytów ściernicy do przecinania nie była określona. Należy jednak przyjąć, że wytrzymałość na ścinanie jest niższa w stosunku do wytrzymałości na rozerwanie. Jak wynika z obliczeń teoretycznych [13] wytrzymałość na ścinanie materiału makroskopowo ciągłego można opisać zależnością $R_m/\sqrt{3}$. Badania doświadczalne wykazują istotną różnicę obu wskaźników

wytrzymałości. Dla kompozytu włókno szklane/żywica epoksydowa [14] zmierzona wartość wytrzymałości na rozciąganie była niemal 10-krotnie wyższa od wytrzymałości na ścinanie. Mając powyższe na uwadze, do obliczeń przyjęto, że wytrzymałość na ścinanie materiału ściernicy wynosi 10MPa. Wyznaczona wartość przyspieszenia rozruchu jest bardzo wysoka i w warunkach stosowania standardowych przecinarek nie występuje.

Badania weryfikujące wytrzymałość ściernicy prowadzi się obciążając ją nie siłą tnącą lecz siłą bezwładności ruchu obrotowego (siłą odśrodkową). Zgodnie z wytycznymi normy EN 12413 obciążanie siłą odśrodkową winno następować poprzez równomiernie wzrastającą prędkość obrotową ściernicy. Jak wynika z obliczeń przeprowadzonych wg wzoru (5) równomierne rozpędzanie nie powinno przekroczyć przyspieszenia kąowego, które, pokonując moment bezwładności, spowoduje zniszczenie ściernicy.

■ Przedmiot i metodyka badań

W badaniach doświadczalnych wykorzystano ściernice dwóch producentów o charakterystykach:

41-125x2,5x22,2 95A30RBF-80 STANDARD

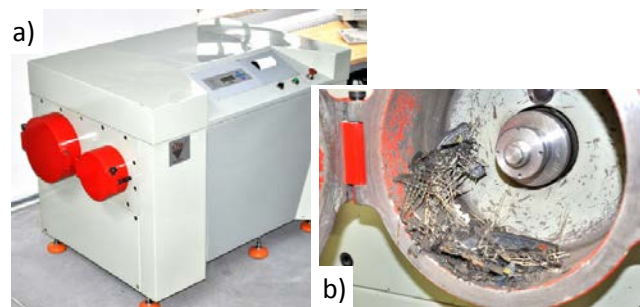
41-125x1,6x22,2 A46S BF

42-125x2,5x22,2 95A30RBF-80 STANDARD

Ściernice poddawano próbom wytrzymałości rozpędzając je równomiernie (ze stałym przyspieszeniem) do osiągnięcia prędkości rozerwania. Zastosowano cztery wartości nastawne (na rozrywarcie) czasów rozpędzania: 2s, 3s, 5s i 10s. Dla każdego czasu test powtarzano kilkakrotnie. Podczas próby rejestrowano prędkość obrotową wrzeciona do momentu rozerwania ściernicy.

■ Stanowisko pomiarowe

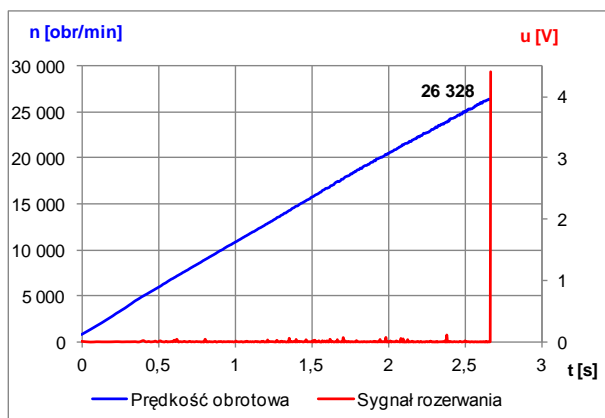
Badania przeprowadzono na rozrywarcie do ściernicy z wrzecionem łożyskowanym tocznie, rozpędzającym się do maksymalnej prędkości 30 000 obr./min. W rozrywarcie wrzeciono napędzane jest silnikiem asynchronicznym poprzez przekładnię pasową. Regulacja prędkości obrotowej jest bezstopniowa, realizowana falownikiem tyrystorowym. Do nadzorowania prędkości obrotowej wrzeciona służy czujnik indukcyjny, a do uchwycenia momentu rozerwania ściernicy czujnik optoelektroniczny o czasie reakcji 2 μ s. Układ sterowania rozrywarki umożliwia zaprogramowanie przebiegu próby. Wielkościami nastawnymi są prędkość, do której winno rozpędzić się wrzeciono oraz czas, w jakim tę prędkość wrzeciono ma osiągnąć. Na rysunku 6 przedstawiono widok stanowiska oraz widok odłamków rozerwanej ściernicy w osłonie rozrywarki.



Rys. 6. Rozrywarka do ściernicy a) widok ogólny, b) złom rozerwanej ściernicy w osłonie rozrywarki

■ Pomiar prędkości rozerwania ściernicy

Kontrolę i obróbkę sygnałów pochodzących z czujników wykonywano z wykorzystaniem karty analogowo-cyfrowej NI-6132 oraz własnej aplikacji programu LabView. Karta NI-6132 charakteryzuje się wysoką prędkością pracy, niezbędną do pomiaru szybkozmiennych sygnałów. Dodatkowo, jej kanały cyfrowe posiadają funkcję licznika, co pozwoliło na dokonywanie bardzo szybkiej oceny bieżącej prędkości obrotowej wrzeciona rozrywarki. Poprzez jednoczesne śledzenie licznika karty AC oraz sygnału czujnika rozerwania rejestrowano moment i prędkość wrzeciona, przy której nastąpiła destrukcja ściernicy. Dzięki zastosowanemu sprzętowi komputerowemu oraz oprogramowaniu uzyskano kontrolę prędkości obrotowej wrzeciona w odstępie ok. 5ms (200Hz). Krótki czas repetycji ma istotne znaczenie dla prowadzonych badań, gdyż dynamika przebiegu testu wymaga możliwie najniższej zwłoki odczytu, by ostatnia zarejestrowana wartość była najbardziej zbliżona do rzeczywistej prędkości rozerwania ściernicy. Na rysunku 7 przedstawiono przykładowy wykres sygnałów mierzonych podczas wykonywania testu wytrzymałości ściernicy na rozerwanie.

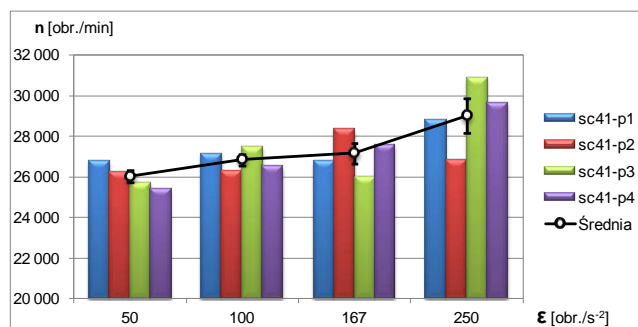


Rys. 7. Przebieg sygnałów pomiarowych w próbie badania wytrzymałości ściernicy na rozerwanie

Wyniki badań

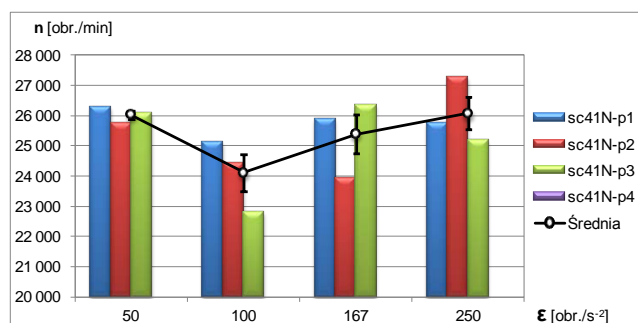
Możliwości techniczne rozrywarki pozwoliły na przeprowadzenie prób wytrzymałości ściernic z najmniejszym czasem rozpędzania równym 2s. Czas ten należy rozumieć jako okres, w którym wrzeciono rozrywarki winno osiągnąć prędkość 30000 obr./min. Kolejne zastosowane czasy rozpędzania to 3, 5 i 10 sekund. Łatwo można obliczyć, że średnie przyspieszenie w ruchu obrotowym, zaczynając od czasu rozpędzania 2s, wynosiło odpowiednio: 250, 167, 100 i 50 obr./s². Na rysunkach 8-10 przedstawiono zestawienie wyników badań prędkości rozerwania poszczególnych typów ściernic w funkcji czasu rozpędzania. Słupki kolumn wskazują prędkości obrotowe wrzeciona zarejestrowane w momencie rozerwania ściernicy. Wykres liniowy łączy punkty średniej wartości prędkości z serii pomiarowej. Słupki błędów są wartością odchylenia standardowego w serii.

Wyniki badań ściernic płaskich (rys.8) o grubości 2,5mm typ 41 95A30RBF-80 STANDARD wskazują na występującą zależność wartości średnich prędkości rozerwania (a zatem i wytrzymałości ściernicy) od prędkości odkształceń osiągniętych szybszym przyrostem siły odśrodkowej działającej na ściernicę w czasie próby. Wyższa prędkość odkształcania skutkuje podwyższeniem średniej prędkości rozerwania a jednocześnie większą wartością odchylenia standardowego serii pomiarowej.



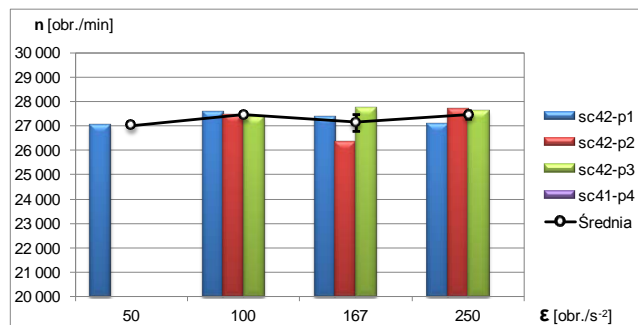
Rys. 8. Prędkość rozerwania ściernicy 41-125x2,5x22,2 95A30RBF-80 STANDARD w funkcji przyspieszenia kąowego

Próby wykonane na ściernicach typ 41 A46S BF (rys.9), drugiego producenta, które miały mniejszą grubość (1,6mm) a siatki wzmacniające mniejsze oczka, również wykazały większe odchylenie od wartości średniej wyników pomiarowej dla wyższych wartości przyspieszeń kąowych. Tutaj zmniejszenie wartości przyspieszenia kąowego nie przełożyło się jednoznacznie na zanik efektu wzmocnienia ściernicy. Zarówno rozpędzanie z przyspieszeniem 250, jak i 50 obr./s² spowodowały rozerwanie ściernicy przy podobnych prędkościach obrotowych wrzeciona rozrywarki. Malejącą wytrzymałość ściernic odnotowano natomiast dla kolejnych wartości przyspieszeń kąowych 250, 167 i 100 obr./s².



Rys. 9. Prędkość rozerwania ściernicy 41-125x2,5x22,2 A46S BF w funkcji przyspieszenia kąowego

Prawie całkowity brak oddziaływania przyspieszenia ruchu obrotowego ściernicy na moment jej rozerwania wykazały wyniki badań ściernic typu 42 z obniżonym środkiem (rys.10). W tym przypadku prędkość rozerwania oraz odchylenie standardowe próby pozostawały na zbliżonym poziomie dla wszystkich wartości przyspieszeń kąowych z jakimi rozpędzano ściernice.



Rys. 10. Prędkość rozerwania ściernicy 42-125x2,5x22,2 95A30RBF-80 STANDARD w funkcji przyspieszenia kąowego

Podsumowanie

Na podstawie wykonanych badań wytrzymałości na rozerwanie ściernic do przecinania i analizy osiągniętych wyników można sformułować następujące wnioski:

- 1) wyniki badań ściernic płaskich typu 41 wskazują, że występuje wpływ przyspieszenia kąowego na osiąganą prędkość rozerwania – skutkiem zastosowania większych przyspieszeń było uzyskiwanie wyższych prędkości, przy których ściernice ulegały rozerwaniu. Potwierdziło się zatem wynikające z literatury przypuszczenie, że właściwości lepkosprężyste spoiwa z żywicy polimerowej (fenolowej) mogą mieć wpływ na wzrost wytrzymałości dynamicznej takich ściernic,
- 2) zastosowanie w konstrukcji ściernic dodatkowego wzmocnienia w okolicy otworów oraz ułożenia siatek wzmacniających pod różnym kątem zmniejszyło wpływ lepkosprężystości żywicy na wytrzymałość ściernic. Widoczne to było w wynikach testów ściernic z obniżonym środkiem. Można sądzić, że w tym przypadku większą część obciążeń przejmowało zbrojenie ściernic,
- 3) podczas stosowania większych przyspieszeń kąowych występowały większe rozrzuty wyników badań ściernic płaskich. Tu mógł zaznaczyć się wpływ niejednorodności kompozytów tych ściernic,
- 4) przemysłowe badania wytrzymałościowe ściernic do przecinania ze spoiwem żywicznym powinny uwzględniać stosowane przyspieszenia kąowe i wykazywać ich wartości w metrykach prób.

Przedstawione wnioski ukierunkowują dalsze działania, poszerzające dotychczasowy zakres badań w kierunku zastosowania jeszcze większych przyspieszeń kąowych oraz uwzględnienia innych czynników mogących mieć wpływ na osiąganą prędkość rozerwania, takich jak masa ściernicy, jej bicie geometryczne, czy też ewentualna porowatość spoiw.

LITERATURA

1. EN-12413: Wymagania bezpieczeństwa dotyczące narzędzi ściernych spojonych
2. www.hhw.de
3. Ochelski S., Metody doświadczalne mechaniki kompozytów konstrukcyjnych, WNT, Warszawa 2004.
4. Gruin M., Materiały polimerowe, PWN, Warszawa 2003.
5. Barre S., Chotard T., Benzeggagh M. L., Comparative study of strain rate effects on mechanical properties of glass fibre reinforced thermoset matrix composites. *Composites Part A* vol. 27A 1169-1181, 1996.
6. Berezhnits'kyi L.T., Panasyuk V.E., Effect of the strain rate and temperature on the physico-mechanical properties of glass-fiber reinforced plastics. *Materials Science*, Vol. 37, No. 1, 53-58, 2001.
7. Gilat A., Goldberg R., Roberts G., Experimental study of strain-rate-dependent behavior of carbon/epoxy composite. *Composites Science and Technology* Vol. 62, 1469–1476, 2002.
8. Jacob G., Starbuck M., Fellers J., Simunovic S., Boeman R., Strain Rate Effects on the Mechanical Properties of Polymer Composite Materials. *Journal of Applied Polymer Science*, Vol. 94, 296–301, 2004.
9. Heimbs S., Schmeer S., Middendorf P., Maier M., Strain rate effects in phenolic composites and phenolic-impregnated honeycomb structures. *Composites Science and Technology* vol.67, 2827–2837, 2007.
10. Najafi M., Khalili S. M. R., Eslami-Farsani R., The Strain Rate Effect on Bending Properties of Basalt and Carbon Fibers Reinforced Phenolic Composites. *Int. J. Advanced Design and Manufacturing Technology*, Vol. 5/ No. 4/ September – 2012.
11. Mall S., Law G.E., Katouzian M., Loading rate effect on interlaminar fracture toughness of a thermoplastic composite. *Journal Composite Materials*, Vol. 21, 569-579, 1987.
12. Kaczmarek J., System wielokryterialnej oceny i doskonalenia wytrzymałości ściernic do przecinania. Sprawozdanie z projektu badawczego nr 4 T07D 010 29, Łódź, 2008.
13. Wilczyński A., Polimerowe kompozyty włókniste. Własności, struktura, projektowanie. WNT, Warszawa, 1996.
14. Torabizadeh M., Tensile, compressive and shear properties of unidirectional Glass/epoxy composites subjected to mechanical loading and low temperature services. *Indian Journal of Engineering & Materials Sciences*, vol.20, 299-309, 2013.