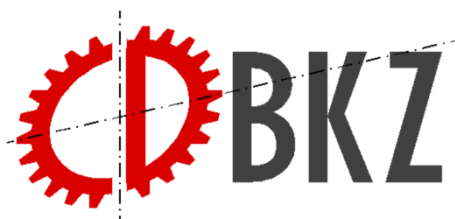




AKADEMIA KALISKA

im. Prezydenta Stanisława Wojciechowskiego



**Instytut - Centrum Doskonałości Badań
Kół Zębatych**



Kalisz, 2022 r.

SPIS TREŚCI:

WSTĘP:.....	3
1. Laboratorium dokładności geometrycznej	4
1.1. Pomiary geometryczne, stereometrii powierzchni i odchylek kształtu	4
1.1.1. Okrągłościomierz Roundscan 555 HR firmy Jenoptik (Hommel-Etamic).....	4
1.1.2. Profilometr Nanoscan 855 firmy Jenoptik (Hommel-Etamic).....	5
1.1.3. Współrzędnościowa maszyna pomiarowa Wenzel LH 65.....	6
1.1.4. Współrzędnościowa maszyna pomiarowa LEITZ Infinity, Hexagon Metrology GmbH	7
1.1.5. Współrzędnościowy skaner optyczny Atos Scan Box 5108 firmy GOM GmbH.....	8
1.1.6. Mikroskop pomiarowy Hawk	10
1.2. Pomiary kół zębatach i wzorców kół zębatach.....	11
1.2.1. Specjalizowana czteroosiowa maszyna współrzędnościowa Wenzel WGT 600.....	11
2. Laboratorium badań wytrzymałościowych	12
2.1. Badania wytrzymałości użytkowej kół zębatach	12
2.1.1. Tester T-30 do kół zębatach stożkowych	12
2.1.2. Tester T-12UM do kół zębatach walcowych.....	13
2.2. Badania wytrzymałościowe, odkształceń i naprężeń	14
2.2.1. Maszyna wytrzymałościowa Inspekt 250kN	14
2.2.2. Stereoskopowy system 3D Aramis 5M.....	15
2.2.3. Mobilny analizator naprężeń resztkowych	16
3. Laboratorium badań materiałowych	17
3.1. Pomiary twardości i mikrotwardości.....	17
3.1.1. Twardościomierz uniwersalny i zautomatyzowany mikrotwardościomierz.....	17
3.2. Badanie składu chemicznego metodą spektrometrii optycznej.....	18
3.2.1. Optyczny spektroskop metalograficzny Metal Lab Plus	18
3.3. Przygotowanie zglądów metalograficznych.....	19
3.3.1. Urządzenia do kompleksowego przygotowania próbek materiałowych.....	19
OFERTA USŁUGOWA I-CDBKZ.....	22
NOTATKI	24

WSTĘP:

Instytut – Centrum Doskonałości Badań Kół Zębatych (I-CDBKZ) został powołany w 2020 roku jako jednostka organizacyjna Akademii Kaliskiej im. Prezydenta Stanisława Wojciechowskiego organizująca i prowadząca działalność badawczą w ramach dyscypliny *Inżynieria mechaniczna* w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych. Dodatkowo Instytut odpowiada za realizację zadań związanych z ewaluacją jakości działalności naukowej w ramach tej dyscypliny w całej uczelni.

Bazę laboratoryjną Instytutu stanowi utworzone w 2014 roku, z inicjatywy ówczesnego Rektora – prof. zw. dr. inż. Jana Chajdy, Centrum Dydaktyczne Badań Kół Zębatych Państwowej Wyższej Szkoły Zawodowej im. Prezydenta Stanisława Wojciechowskiego w Kaliszu. Centrum to było wówczas pierwszym, własnym ośrodkiem badawczym Uczelni. Powstało w ramach projektu współfinansowanego przez Unię Europejską z Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego oraz z Budżetu Samorządu Województwa Wielkopolskiego w ramach Wielkopolskiego Regionalnego Programu Operacyjnego na lata 2007 - 2013.

Wiosną 2021 roku Instytut wdrożył i obecnie stosuje System Zarządzania Jakością w zakresie *Badania laboratoryjne i kształcenie studentów* zgodnie z wymaganiami normy ISO 9001:2015.

Infrastruktura badawcza Instytutu wykorzystywana jest do prowadzenia zajęć dydaktycznych dla studentów Akademii Kaliskiej, wykonywania badań na potrzeby prac dyplomowych studentów, prac badawczych pracowników badawczych i badawczo-dydaktycznych Uczelni oraz w ramach projektów naukowo-badawczych.

Instytut współpracuje z wyższymi uczelniami, ośrodkami badawczymi i zakładami przemysłowymi z całego kraju, szczególnie z przedsiębiorstwami przemysłu lotniczego zrzeszonymi w Stowarzyszeniu Przedsiębiorców Przemysłu Lotniczego „Wielkopolski Klaster Lotniczy”. Zakres współpracy obejmuje badania i pomiary, które Zespół Laboratoriów Instytutu wykonuje dla tych przedsiębiorstw.

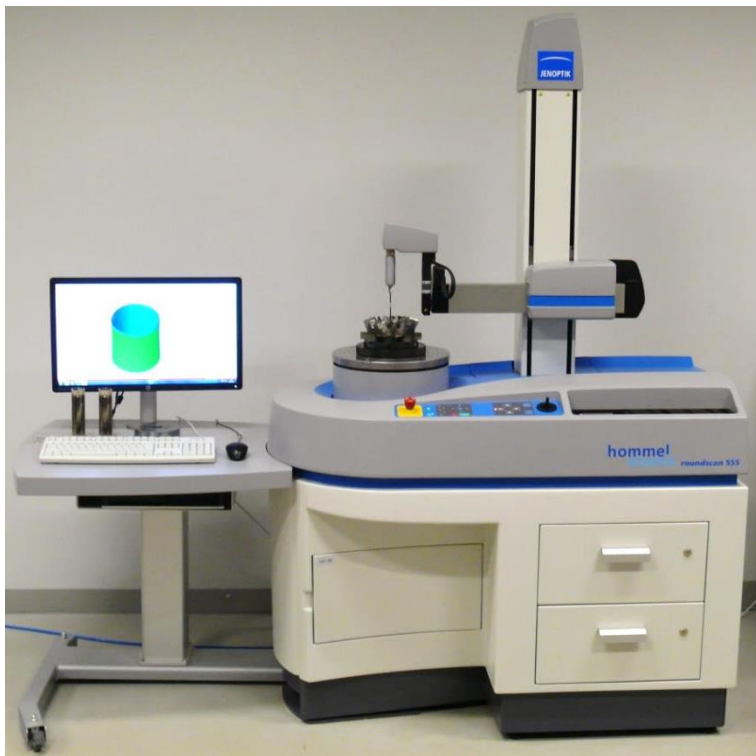
**ZAPRASZAMY DO ZAPOZNANIA SIĘ
Z NASZĄ OFERTĄ BADAWCZĄ**



1. Laboratorium dokładności geometrycznej

1.1. Pomiary geometryczne, stereometrii powierzchni i odchylek kształtu

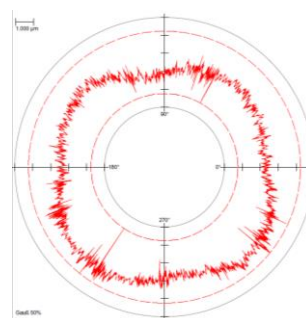
1.1.1. Okrągłościomierz Roundscan 555 HR firmy Jenoptik (Hommel-Etamic)



Rys. 1. Roundscan 555 HR firmy Jenoptik (Hommel-Etamic)



Rys. 2. Pomiar okrągłości otworu centralnego koła zębatego stożkowego o zębach łukowych



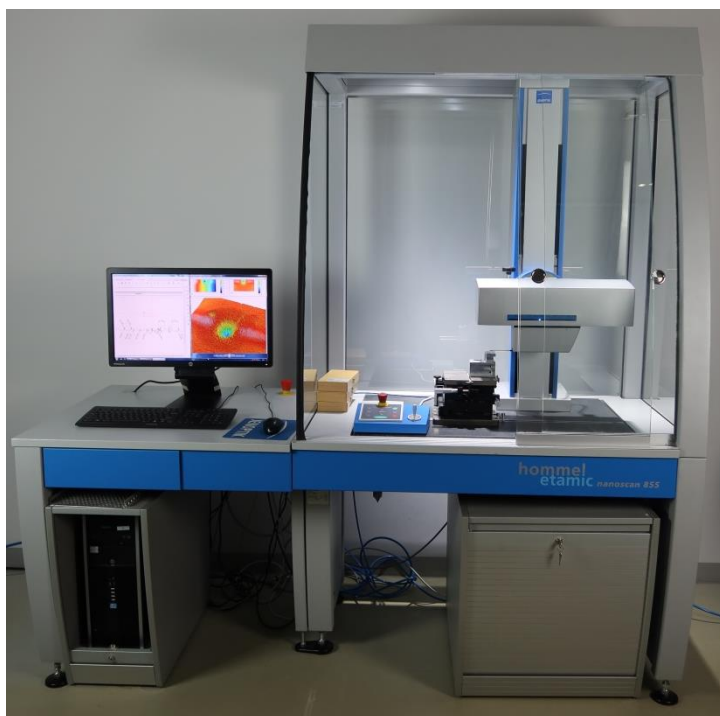
Rys. 3. Przykładowy wykres odchylki okrągłości w układzie biegunowym

Urządzenie specjalizowane z obrotowym stołem i sterowaniem CNC do pomiaru odchylek kształtu elementów osiowo-symetrycznych (rys. 1). Pomiary realizowane są stykowo wg normy ISO 1101 (rys. 2 i 3). Urządzenie rejestruje do 360 000 punktów na obwodzie mierzonego przedmiotu.

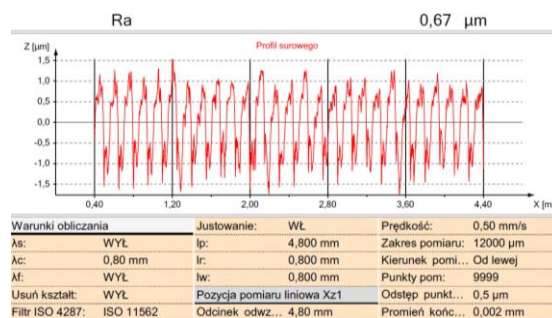
Wybrane dane techniczne i dokładność pomiaru:

- Maksymalna średnica mierzonego przedmiotu: 740 mm.
- Maksymalna średnica robocza: 390 mm.
- Maksymalna wysokość pomiaru: 550 mm.
- Maksymalne obciążenie: 600 N.
- Zakres centrowania: ± 5 mm.
- Zakres poziomowania: $\pm 1^\circ$.
- Łożyskowanie stołu: powietrzne.
- Odchyłka okrągłości ($\mu\text{m} + \mu\text{m}/\text{mm}$ wysokość pomiaru): $0,02 + 0,0005 \mu\text{m}$ (oś C).
- Odchyłka okrągłości ($\mu\text{m} + \mu\text{m}/\text{mm}$ promień pomiaru): $0,03 + 0,0005 \mu\text{m}$ (oś C).
- Odchyłka prostoliniowości / 100 mm: $0,15 \mu\text{m}$ (oś Z); $0,25 \mu\text{m}$ (oś R).
- Odchyłka prostoliniowości / długość mierzona: $0,45 \mu\text{m}$ (oś Z); $0,5 \mu\text{m}$ (oś R).
- Wymiary urządzenia (szer. x głęb. x wys.): 1990 x 750 x 1960 mm.
- Masa urządzenia: ok. 665 kg.

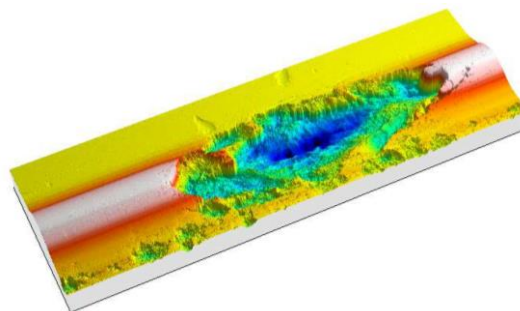
1.1.2. Profilometr Nanoscan 855 firmy Jenoptik (Hommel-Etamic)



Rys. 4. Nanoscan 855 firmy Jenoptik (Hommel-Etamic)



Rys. 5. Przykładowy pomiar chropowatości



Rys. 6. Topografia powierzchni po zużyciu

Urządzenie do pomiaru chropowatości, topografii powierzchni i konturów (rys. 4). Mierzony przedmiot umieszcza się na stoliku pomiarowym sterowanym CNC lub bezpośrednio na płycie granitowej. Pomiar odbywa się stykowo. Wszystkie parametry są mierzone w jednym przejściu końcówki pomiarowej. Wpływ czynników zewnętrznych na proces pomiaru jest ograniczony poprzez odizolowanie urządzenia od: drgań podłoża (system tłumienia drgań), ruchów powietrza (szklana obudowa). Przykłady pomiarów przedstawiono na rys. 5 i 6.

Wybrane dane techniczne i dokładność pomiaru:

- Zakres pomiaru / rozdzielczość osi Z: 24 mm / 0,6 nm lub 48 mm / 1,2 nm.
- Zakres pomiaru / rozdzielczość jednostki poprzecznej: 200 mm / 10 nm.
- Nacisk pomiarowy: elektronicznie regulowany w zakresie $\pm 1 \div 50$ mN.
- Dokładność pomiaru prostoliniowości: $\leq 0,4 \mu\text{m} / 200 \text{ mm}$.
- Prędkość pomiaru: od 0,1 do 3 mm/s.
- Powtarzalność pozycjonowania: 10 μm .
- Stolik pomiarowy sterowany CNC o wymiarach 160 x 160 x 96 mm:
 - Zakres regulacji: $\pm 12,5 \text{ mm}$ (współrzędne X / Y).
 - Zakres obrotu: $\pm 5^\circ$ wokół osi pionowej.
 - Maksymalna masa elementu mierzonego: 30 kg.
- Ogólna dokładność pomiaru:
 - Pomiar kąta: $\pm 0,5'$ kąt standardowy, nominalny 90° .
 - Pomiar promienia: $\pm 0,01\%$ kuli kalibracyjnej, nominalny $R = 10 \text{ mm}$.
 - Pomiar odległości: $\pm 2 \mu\text{m}$ KN8, nominalny 82 mm.

1.1.3. Współrzędnościowa maszyna pomiarowa Wenzel LH 65



Rys. 7. Współrzędnościowa maszyna pomiarowa Wenzel LH 65



Rys. 8. Głowica pomiarowa RENISHAW PH20



Rys. 9. Przykładowy pomiar

Współrzędnościowa maszyna pomiarowa Wenzel LH 65 (rys. 7) o konstrukcji portalowej, wyposażona w najnowszą, bezstopniową głowicę pomiarową obrotowo-uchyłną RENISHAW PH20 (rys. 8 i 9). Dzięki takiemu rozwiązaniu uzyskano możliwość pracy w 5 osiach, co pozwala znacznie skrócić czas pomiaru elementu, a wszystkie pomiary detalu można często wykonać przy użyciu tylko jednej końcówki pomiarowej.

Wybrane dane techniczne i dokładność pomiaru współrzędnościowej maszyny pomiarowej:

- Zakres pomiarowy: X = 650 mm, Y = 750 mm, Z = 500 mm.
- Objętościowa niepewność pomiaru długości: $2,5 \mu\text{m} + L / 300$ (dla TP20).
- Niepewność pomiaru: $2,5 \mu\text{m}$ (dla TP20).
- Niepewność sondy pomiarowej: $2,4 \mu\text{m}$ (dla SP25/80).
- System pomiarowy: system skali fotoelektrycznej, podziałka optyczna.
- Rozdzielczość: $1 \mu\text{m}$.
- Maksymalna masa przedmiotu mierzonego: 500kg.
- Masa maszyny pomiarowej: ok. 1340 kg.

Wybrane dane techniczne głowicy pomiarowej Renishaw PH20:

- Maksymalna prędkość ruchu głowicy: 3 obr./s (1281 mm/s).
- Maksymalna prędkość głowicy: 50 mm/s.
- Rozdzielczość kątowa: $0,4 \mu\text{Radiany}$ ($0,04 \mu\text{m} / 100 \text{ mm}$).

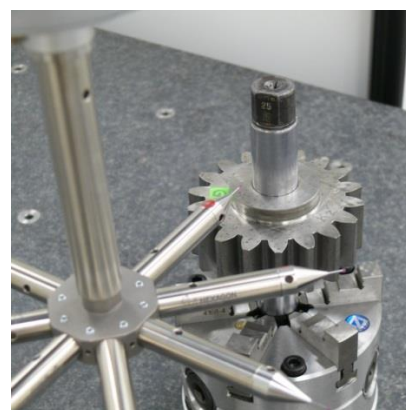
1.1.4. Współrzędnościowa maszyna pomiarowa LEITZ Infinity, Hexagon Metrology GmbH



Rys. 10. Współrzędnościowa maszyna pomiarowa LEITZ Infinity, Hexagon Metrology GmbH



Rys. 11. Kalibracja na kuli wzorcowej



Rys. 12. Pomiar koła zębatego

Leitz Infinity (rys. 10) - to najbardziej dokładna, seryjnie produkowana maszyna współrzędnościowa na świecie. Maszyna o konstrukcji "Closed Frame" z nieruchomym portalem i ruchomym stołem, wraz z systemem klimatyzacji firmy Weissttechnik to najdroższa inwestycja Centrum Dydaktycznego Badań Kół Zębatach. Maszynę wyposażono w system aktywnego tłumienia drgań, pełną ochronę antykolizyjną oraz oprogramowanie Quindos 7. Łączny koszt zakupu to ponad 4 mln zł. W pomieszczeniu pomiarowym przez całą dobę utrzymywana jest stała temperatura $20^{\circ}\text{C} \pm 0,1^{\circ}\text{C}$ i wilgotność powietrza ok. 50%. Przykładowe pomiary przedstawiono na rys. 11 i 12.

Wybrane dane techniczne i dokładność pomiaru:

1. Zakres pomiarowy: $X = 1200 \text{ mm}$, $Y = 1000 \text{ mm}$, $Z = 600 \text{ mm}$.
2. Graniczny błąd pomiaru: $0,2 \mu\text{m}$.
3. Dokładność pomiaru: $0,3 \mu\text{m} + L / 1000$.
4. Prędkość: 400 mm/s , przyspieszenie: 3000 mm/s^2 .
5. Rozdzielczość: 4 nanometry ($0,004 \mu\text{m}$).
6. Rodzaje zbierania punktów pomiarowych: zbieranie punktów pojedynczych, pomiary skaningowe.
7. Szybkość transmisji: do 750 punktów/s.
8. Nacisk mierniczy: od 0,02 do 0,16 N, wybór bezstopniowy.
9. Maksymalna długość / masa elementu testującego (czujnika): $800 \text{ mm} / 1000 \text{ g}$.
10. Dopuszczalna masa przedmiotu mierzonego: 1500 kg.
11. Masa maszyny pomiarowej: ok. 8 ton.

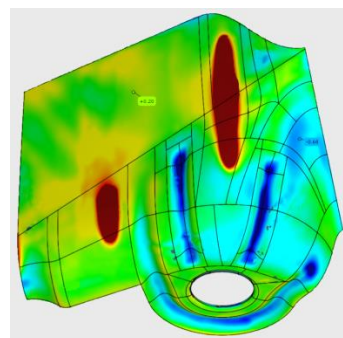
1.1.5. Współrzędnościowy skaner optyczny Atos Scan Box 5108 firmy GOM GmbH



Rys. 13. Atos Scan Box 5108 firmy GOM GmbH



Rys. 14. Skanowanie detalu



Rys. 15. Porównanie zeskanowanej części rzeczywistej do modelu CAD

Atos Scan Box 5108 firmy GOM GmbH (rys. 13) to w pełni zautomatyzowany, optyczny system pomiarowy z oprogramowaniem do analizy geometrycznej. Obecnie najbardziej innowacyjny, kompletny, modułowy system optyczny 3D na rynku. System mierzy obiekty o różnych rozmiarach, powierzchni i złożone konstrukcje, dostarczając: dokładne współrzędne 3D, wysoką jakość danych, modele CAD (inżynieria odwrotna), analizę GD&T (m.in. porównanie do modelu CAD w postaci kolorowej mapy odchyłek), analizę trendów oraz raporty pomiarowe (rys. 14 i 15).

Wybrane dane techniczne i dokładność pomiaru:

- Dokładność pomiaru: 0,02 mm.
- Maksymalna masa przedmiotu mierzonego: do 300 kg.
- Maksymalny rozmiar przedmiotu mierzonego na stole: do 0,8 m.
- Wymiary systemu (szer. x głęb. x wys.): 2 m x 2,55 m x 2,70 m.
- Masa systemu: 880 kg (robot + obrotowy stół).

Optyczny system pomiarowy z oprogramowaniem do analizy geometrycznej. Atos Triple Scan (rys. 16) jest wyposażony w technologię niebieskiego światła. Wąskopasmowe światło niebieskie pozwala na precyzyjne pomiary prowadzone niezależnie od zewnętrznych warunków świetlnych.

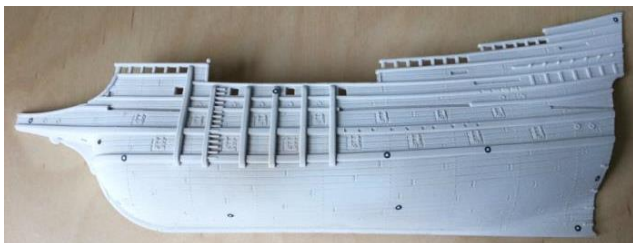


Rys. 16. Atos Triple Scan III

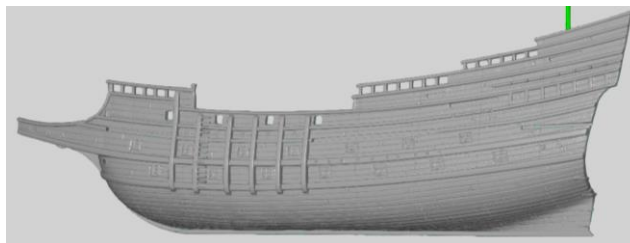
Wybrane dane techniczne i dokładność pomiaru głowicy Atos Triple Scan III:

- Dokładność pomiaru: 0,02 mm.
- Rozdzielczość kamer: 3296 x 2472 pikseli.
- Zbierane punkty pomiarowe: średnio 8 100 000.
- Możliwe położenia kamery: SO, 400.
- Obszar pomiarowy dla pozycji kamery 400:
od 170 x 130 x 130 mm do 1400 x 1050 x 1050 mm.
- Obszar pomiarowy dla pozycji kamery SO:
od 38 x 29 x 15 mm do 320 x 240 x 240 mm.
- Obszary pomiarowe: 38 x 29 - 2000 x 1500 mm².
- Odległość pracy: 490 - 2000 mm.
- Pozycjonowanie głowicy: robot przemysłowy FANUC.
- Światło niebieskie: 400-500 nm.
- Oprogramowanie: ATOS Professional V8.

Skanowanie 3D umożliwia pozyskanie cyfrowego odpowiednika (rys. 18) rzeczywistego detalu (rys. 17), który następnie można, przy wykorzystaniu oprogramowania do inżynierii odwrotnej, przekształcić do modelu bryłowego. Utworzony w ten sposób model, może być wydrukowany przy wykorzystaniu technik przyrostowych, za pomocą specjalnie do tego celu przeznaczonych drukarek 3D. Do druku można używać plastiku (np. ABS) lub proszków metalicznych.



Rys. 17. Element przygotowany do skanowania



Rys. 18. Element zeskanowany w postaci chmury punktów, poddany poligonizacji

Plus Box 29M (rys. 19) jest dodatkowym modulem montowanym na głowicy optycznej Atos Triple Scan III, umożliwiającym pomiary fotogrametryczne i zbieranie punktów referencyjnych. Za pomocą modułu Atos Plus Box proces kontroli może być całkowicie zautomatyzowany, co pozwala na: bezpieczeństwo procesów w długich okresach, wyższą powtarzalność i niezawodność, oszczędność czasu, niższe koszty oprzyrządowania.

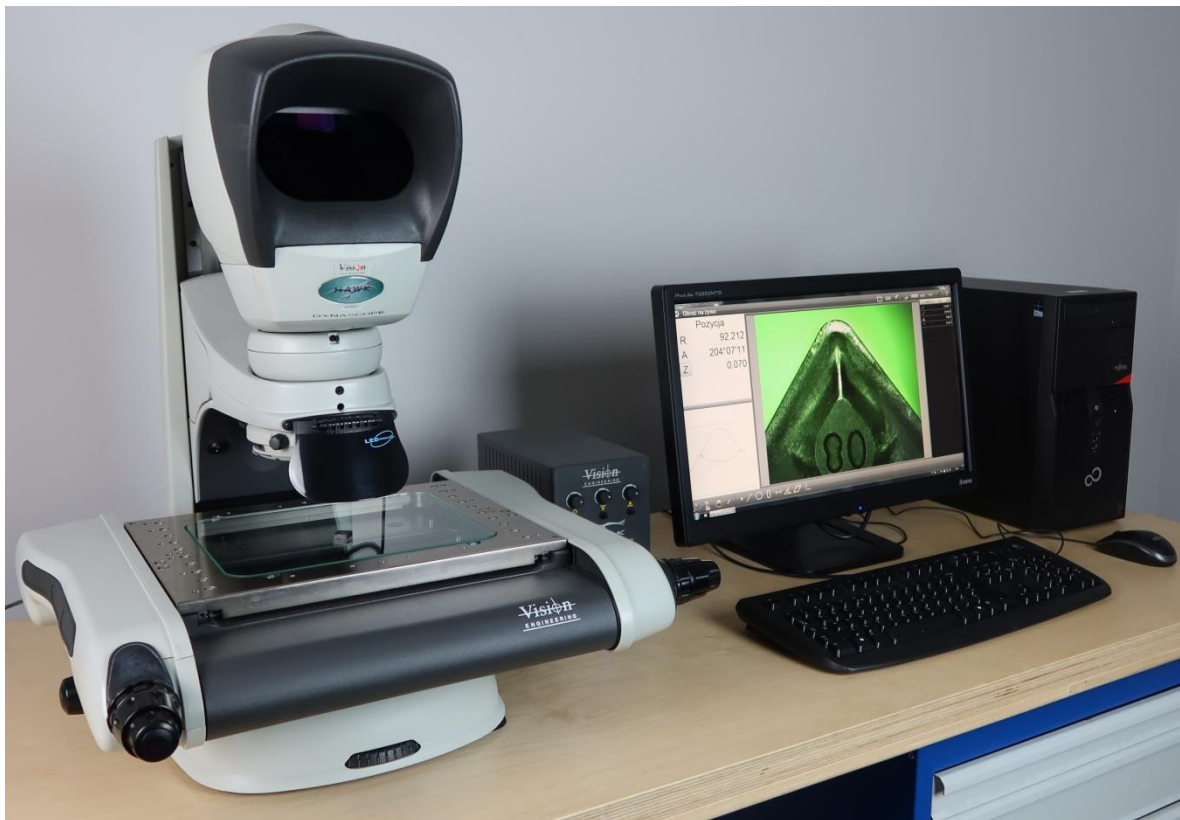
Wybrane dane techniczne:

- Liczba pikseli kamery:
29 000 000.
- Obszar pomiarowy:
500 x 333 - 3000 x 2000 mm².
- Zakres działania (pracy):
510 - 2000 mm.
- Oświetlenie: zintegrowane.
- Masa modułu: 2 kg.



Rys. 19. Moduł do fotogrametrii Plus Box 29M, GOM GmbH

1.1.6. Mikroskop pomiarowy Hawk



Rys. 20. Mikroskop pomiarowy Hawk firmy Vision Engineering

Trójosiowy video-optyczny mikroskop pomiarowy (rys. 20) wyposażony w precyzyjny stół o dużym zakresie pomiarowym. Opatentowana głowica w technologii DYNASCOPE® umożliwia obserwację trudno-mierzalnych elementów, przy zachowaniu doskonałej widoczności szczegółów. Urządzenie idealne do pomiarów 2D i 3D zarówno małych, jak i dużych części o różnym stopniu skomplikowania.

Wybrane dane techniczne i dokładność pomiaru:

- Zakres pomiarowy (X, Y): 200 x 150 mm.
- Zakres pomiarowy (Z): 195 mm (max. 244 mm).
- Niepewność pomiarowa: $U_{95}2D = 2 + (4,5 L / 1000) \mu m$.
- Powtarzalność stolika: 0,002 mm (max. 0,004 mm).
- Maksymalne obciążenie stolika: 12 kg.
- Rozdzielczość enkoderów: 0,0005 mm.
- Wymiary urządzenia (szer. x głęb. x wys.): 750 x 750 x 780 mm.
- Masa urządzenia: ok. 65 kg.

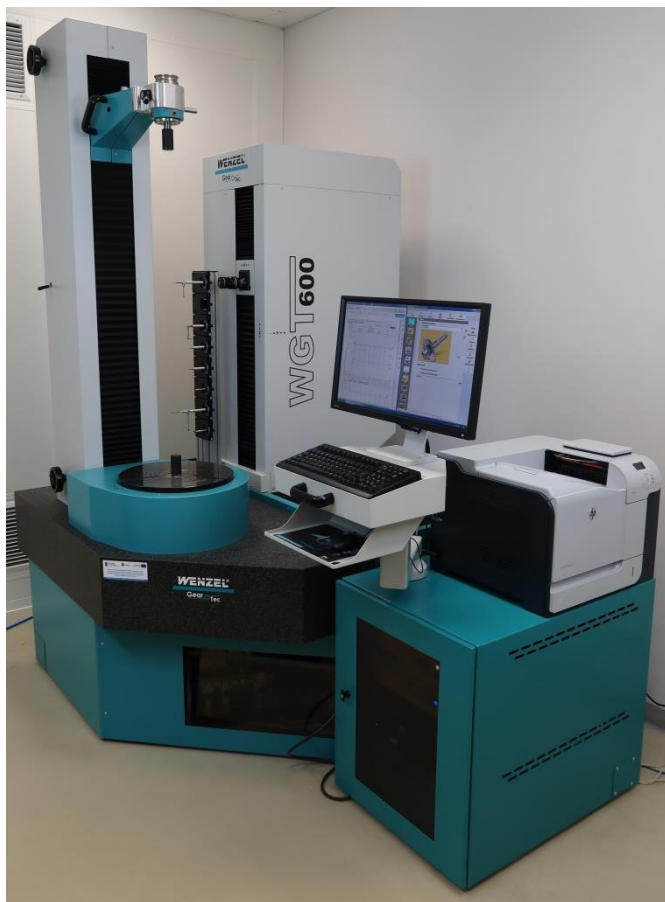
Inne cechy:

- Wysoko powtarzalny system pomiarowy.
- Fabryczna kalibracja NLEC.
- Dwa systemy pomiarowe w jednym (opcja z kamerą).

Wyposażony w 8-punktowe odbite światło LED oraz światło przechodzące.

1.2. Pomiary kół zębatach i wzorców kół zębatach

1.2.1. Specjalizowana czteroosiowa maszyna współrzędnościowa Wenzel WGT 600



Rys. 21. Specjalizowana czteroosiowa maszyna współrzędnościowa Wenzel WGT 600



Rys. 22. Kalibracja na kuli wzorcowej



Rys. 23. Pomiar koła zębatego

Wenzel WGT 600 (rys. 21) - specjalizowana czteroosiowa maszyna współrzędnościowa z komputerowym sterowaniem numerycznym (CNC) przeznaczona do kontroli przedmiotów obrabianych (kół zębatach walcowych, stożkowych, ślimaków, ślimacznicy, wałów stopniowanych, wałów rozrządu, rotorów sprężarek, a nawet kół zębatach o nieznanej geometrii) i narzędzi (do ich wytwarzania) w zakresie uzębienia do 600 mm średnicy i ciężaru maksymalnego 4000 N. Możliwy jest pomiar kół zębatach o wszystkich rodzajach uzębienia. Maszyna wyposażona jest w głowicę skanującą RENISHAW SP600M. Przykłady pomiaru przedstawiono na rys. 22 i 23.

Wybrane dane techniczne i dokładność pomiaru:

- Zakres przemieszczania osi: X = 500 mm, Y = 320 mm, Z = 650 mm.
- Min. wewnętrzna / maks. zewnętrzna średnica mierzonego przedmiotu: 12 mm / 600 mm.
- Zakres modułu: od 0,5 mm.
- Kąt zukosowania: maksymalnie 90°.
- Dokładność pomiaru: zgodnie z VDI / VDE 2612/13, grupa I.
- Temperatura pracy: 20°C + 5K; 20°C - 3K; 2 K/h; 2 K/m; ± 2 K (bez ponownej kalibracji).
- Rozdzielczość systemu próbkowania: 0,1 µm.
- Rozdzielczość osi liniowych: 0,1 µm.
- Rozstaw kłków: 20 ÷ 1200 mm.
- Masa urządzenia: ok. 2000 kg,
- Wymiary maszyny (długość x szerokość x wysokość całkowita): 2150 x 1650 x 2200 mm.

2. Laboratorium badań wytrzymałościowych

2.1. Badania wytrzymałości użytkowej kół zębatach

2.1.1. Tester T-30 do kół zębatach stożkowych



Rys. 24. Tester T-30 do kół zębatach stożkowych
(ITeE-PIB w Radomiu)



Rys. 25. Wykruszenia zębów koła zębatego stożkowego o zębach łukowych



Rys. 26. Pitting i inne formy zużycia na zębniku (koło zębate stożkowe)

Maszyna do badania wytrzymałości użytkowej kół zębatach (mocy krążącej) dla kół zębatach stożkowych, a dokładniej do badania odporności na zacieranie i pitting kół zębatach stożkowych (rys. 24). Urządzenie T-30 przeznaczone jest do badania wpływu środków smarowych, materiałów konstrukcyjnych oraz technologii modyfikacji powierzchni zęba na odporność na zacieranie (scuffing, scoring) i powierzchniowe zużycie zmęczeniowe (pitting, spalling) kół zębatach stożkowych.

Do testów używa się pary specjalnych kół zębatach stożkowych o zębach łukowych, obciążanych zadaniem momentem i obracających się z zadaną prędkością. Istnieje możliwość zmiany kierunku obrotu kół. Przekładnia testowa pracuje w komorze wyposażonej w układ grzania i termoelement, pozwalające na podgrzewanie badanego oleju przed biegiem do zadanej temperatury. Przekładnia smarowana jest zanurzeniowo bądź natryskowo (układ obiegowego smarowania). Koła testowe po badaniu przedstawiono na rys. 25 i 26.

Wybrane dane techniczne:

- Koła testowe: stożkowe o zębach łukowych.
- Prędkość obrotowa silnika: do 6000 obr./min.
- Prędkość obrotowa średnia: 7,7 m/s (przy 3000 obr./min).
- Maksymalny stopień obciążenia: 14 (odpowiada 726 Nm).
- Maksymalny nacisk Hertza na zębniku: 1,8 GPa.
- Kierunek obrotów: z możliwością zmiany (lewo / prawo).
- Początkowa temperatura badanego oleju: do 90°C (z możliwością stabilizacji).
- Rodzaj smarowania: zanurzeniowe lub natryskowe.
- Gabaryty (szer. x wys. x głęb.): 2550 x 1700 x 850 mm.
- Masa urządzenia: ok. 500 kg (+ 2500 kg – masa betonowego postumentu urządzenia).

2.1.2. Tester T-12UM do kół zębatach walcowych



Rys. 17. Tester T-12UM do kół zębatach walcowych
(ITeE-PIB w Radomiu)



Rys. 28. Ślady zużycia koła zębatego
walcowego o zębatach prostych po teście
wytrzymałościowym



Rys. 29. Wylamane zęby koła zębatego
walcowego o zębatach prostych po teście
wytrzymałościowym

Maszyna do badania wytrzymałości użytkowej kół zębatach (mocy krążącej) dla kół zębatach walcowych, a dokładniej stanowisko przekładniowe w układzie mocy krążącej do badania wpływu środków smarowych na zacieranie (rys. 27).

Urządzenie przeznaczone jest do wyznaczania właściwości przeciwzatarciowych środków smarowych, takich jak: oleje smarowe (głównie przekładniowe), smary plastyczne. Właściwości te określa stopień obciążenia, pod którym stwierdza się zatarcie przekładni badawczej smarowanej badanym środkiem smarowym. Wystąpienie zacierania może być oceniane wizualnie lub wagowo. Badania można wykonywać według metod opracowanych w Niemczech przez FZG (*Forschungsstelle für Zahnräder und Getriebebau*). Koła testowe po badaniu przedstawiono na rys. 28 i 29.

Wybrane dane techniczne:

- Typ kół testowych FZG (zależnie od metody badań): A20 lub A10, C-PT, C-GT.
- Prędkość obrotowa silnika: do 3000 obr./min.
- Maksymalny stopień obciążenia: 12 (odpowiada 534,5 Nm).
- Kierunek obrotów: zgodny lub przeciwny do ruchu wskazówek zegara.
- Początkowa temperatura badanego oleju: do 120°C.
- Rodzaj smarowania: zanurzeniowe lub natryskowe.
- Gabaryty urządzenia (szer. x wys. x głęb.): 1300 x 1300 x 700 mm.
- Masa urządzenia: 150 kg (nie licząc betonowej podstawy).

2.2. Badania wytrzymałościowe, odkształceń i naprężeń

2.2.1. Maszyna wytrzymałościowa Inspekt 250kN



Rys. 30. Maszyna wytrzymałościowa Inspekt 250kN firmy Hegewald & Peschke GmbH



Rys. 31. Wnętrze komory termicznej



Rys. 32. Przykładowe próbki do statycznej próby rozciągania

Uniwersalna maszyna wytrzymałościowa (rys. 30) o dużym zakresie prędkości i z dużą przestrzenią pomiarową do badań materiałowych przy jedno-osiowych, quasistatycznych obciążeniach związanych z siłą i/lub przemieszczaniem próbek. Inspekt to elektromechaniczna maszyna wytrzymałościowa, pracująca w zakresie obciążeń do 250 kN. Przeznaczona do badania metali, tworzyw sztucznych, lekkich materiałów budowlanych i elementów konstrukcyjnych (rys. 32). Charakteryzuje ją wyjątkowa precyzja układu mechanicznego, wysoka sztywność ramy i nowoczesny układ elektronicznego sterowania. Wyposażona jest w układ hydrauliczny, komplet uchwytów i wkładek oraz komorę termiczną (rys. 31), umożliwiającą wykonywanie badań w temperaturze od -80°C (chłodzenie ciekłym azotem) do 280°C . Możliwe jest wykonywanie badań ściskania, rozciągania i zginania próbek materiałów oraz współpraca ze stereoskopowym systemem do dynamicznego pomiaru i analizy odkształceń i deformacji ARAMIS firmy GOM.

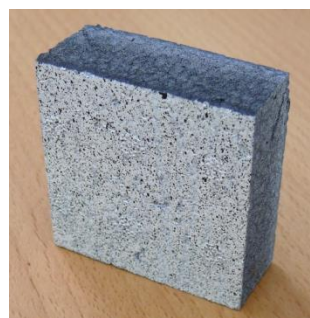
Wybrane dane techniczne:

- Obciążenie maksymalne: 250 kN.
- Zakres pomiaru siły: klasa 1 (od 0,4% do 100% siły nominalnej wg DIN-EN-ISO 7500).
- Szerokość przestrzeni roboczej: 610 mm.
- Prędkość trawersy: 0,002 - 450 mm/min.
- Rozdzielczość pomiaru przemieszczenia trawersy: $0,010\ \mu\text{m}$.
- Skok trawersy bez narzędzi badawczych: 1100 mm.
- Sztywność całkowita: 260 kN / mm.
- Szerokość ramy obciążeniowej: 1080 mm.
- Głębokość ramy obciążeniowej bez wyposażenia dodatkowego: 700 mm.
- Wysokość ramy obciążeniowej: 2150 mm.
- Masa ramy obciążeniowej bez dodatkowych części: 1100 kg.
- Poziom ciśnienia akustycznego: maksymalnie 65dB.

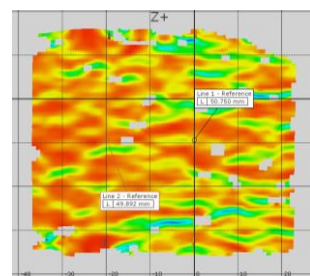
2.2.2. Stereoskopowy system 3D Aramis 5M



Rys. 33. 3D Aramis 5M firmy GOM GmbH



Rys. 34. Przedmiot przygotowany do badania (ściskanie). Na powierzchni przedmiotu naniesiono losowy deseń



Rys. 35. Komputerowa analiza odkształceń i deformacji ściskanej kostki w oprogramowaniu dostarczonym wraz z systemem pomiarowym

Stereoskopowy system do dynamicznego pomiaru i analizy odkształceń i deformacji (rys. 33). ARAMIS jest systemem do bezkontaktowych, trójwymiarowych pomiarów odkształceń. System analizuje, oblicza i dokumentuje deformacje, a graficzne przedstawienie wyników pomiarowych daje możliwość pełnego zrozumienia zachowań badanego obiektu (rys. 34 i 35).

Zastosowania systemu: badania materiałowe, szacowanie naprężeń, wymiarowanie elementów, sprawdzanie zachowań nieliniowych, charakterystyka pełzania i procesu starzenia, określanie granicznej krzywej tłoczenia (FLC), weryfikacja modeli elementów skończonych, określanie charakterystyk materiałowych, analiza zachowań materiałów podczas procesu odkształcania, obliczanie odkształceń.

Wybrane dane techniczne i dokładność pomiaru:

- Standardowe pole pomiarowe: od 10 x 8 do 5000 x 4150 mm.
- Rozdzielczość kamery: 2448 x 2050 pikseli.
- Układ kamery: CCD.
- Maksymalna liczba klatek: 15 Hz (max. 29 Hz).
- Czas ekspozycji: od 0,1 ms do 2 s.
- Oświetlenie LED z filtrami polaryzacyjnymi: 10° lub 30°.
- Zakres pomiaru naprężeń: 0,02 % do > 100%.
- Dokładność pomiaru naprężeń: do 0,01 %.

2.2.3. Mobilny analizator naprężeń resztkowych



Rys.36. Mobilny analizator naprężeń resztkowych Stress X firmy G.N.R.

Urządzenie (rys. 36) umożliwia pomiar naprężeń resztkowych (szczątkowych) w warstwie wierzchniej. Wyposażone jest w głowicę RTG do prześwietlania promieniami rentgenowskimi powierzchni badanych elementów na głębokość ok. 10 μm oraz wskaźnik laserowy (dokładność wskazywania punktu mniejsza niż 10 μm), pokazujący miejsce pomiaru badanego elementu.

Możliwości zastosowania urządzenia w przemyśle są bardzo szerokie, m.in.: wykrywanie naprężeń w kołach zębatych, częściach silników samochodowych (osie, korbowody, wały), wykrywanie naprężeń wywołanych przez tłoczenie (np. w elementach konstrukcyjnych), wykrywanie naprężeń w instalacjach przesyłowych gazu, pomiar efektywności procesu kulowania, nagniatania, wykrywanie naprężeń w odlewach, procesach spawania, zgrzewania, pomiar naprężeń w felgach samochodowych itd.

Wybrane dane techniczne:

- Lampa RTG: ceramiczna, anoda: chrom, 30 kV – 10 mA, maksymalna moc: 300 W, wielkość plamki ogniskowej: 1,5 mm², okno: 0,25 mm grubości i 30 mm średnicy.
- Generator RTG: 300 W mocy, 30 kV maksymalne napięcie, 10 mA maksymalny prąd.
- Detektor: Dectris Mythen 1K, 8 x 64 mm² obszar czułości, 1280 linii (pasów) 50 $\mu\text{m} \pm 3 \mu\text{m}$ każdy, 5 – 30 keV zakres energii, 500 eV rozdzielczość energii.
- Filtr: 0,02 mm (wanadowy).
- Goniometr: 2θ (zakres kątowy 110° - 156°).
- Soczewka: ogniskowa 100 mm.
- System chłodzenia: wydajność 500W 4,5 l/min.
- Laserowy czujnik przemieszczenia: 350 $\pm$ 150 mm (zakres pomiarowy).

3. Laboratorium badań materiałowych

3.1. Pomiary twardości i mikrotwardości

3.1.1. Twardościomierz uniwersalny i zautomatyzowany mikrotwardościomierz



Rys. 37. Twardościomierz uniwersalny OMNITEST firmy ERNST

Uniwersalny twardościomierz automatyczny (rys. 37) z wbudowaną kamerą i komputerem z ekranem dotykowym. Oprogramowanie do archiwizacji danych i pomiaru średnicy lub przekątnych odcisków. Laboratoryjna dokładność pomiaru. Pomiar metodami Brinella, Vickersa, Rockwella i Knoopa. Nacisk do 250 kg. Sterowanie dotykowe z poziomu ekranu.

Wybrane dane techniczne:

- Wgłębniki:
 - Vickers: ostrosłup (piramidka) o kącie 136° .
 - Brinell: kulki o średnicach: 1; 2,5; 5; 10 mm.
 - Rockwell: stożek diamentowy o kącie 120° lub kulka o średnicy $1/16''$.
 - Knoop: diamentowy ostrosłup o podstawie prostokątnej i kątach wierzchołkowych między ścianami, wynoszących odpowiednio 130° i $172^\circ 30'$ (odcisk o stosunku długości przekątnych 7:1).
- Odczyt wyniku: na ekranie dotykowym.
- Zwalnianie nacisku: automatyczne.
- Wymiary urządzenia (szer. x głęb. wys.): 40 x 85 x 110 cm.
- Masa urządzenia: ok. 200kg.



Rys. 38. Mikrotwardościomierz VMHT AUTO mot firmy UHL

Zautomatyzowany mikrotwardościomierz (rys. 38) do seryjnych pomiarów z autofocusem i stolikiem programowalnym CNC. Wyposażony w oprogramowanie do planowania serii odcisków oraz do automatycznego pomiaru przekątnych i obliczenia twardości w skali HV lub HK. Model wyposażony w obrotową głowicę rewolwerową z zainstalowanymi obiektywami i wgłębnikiem. Urządzenie może również służyć do oglądania struktury zgładów metalograficznych.

Wybrane dane techniczne:

- Pomiar metodą Vickersa i Knoopa.
- 12 obciążeń: od 1g do 2 kg
- Powiększenie 100x lub 500x.
- Ustawianie obciążenia i regulacja czasu obciążania: w oprogramowaniu.
- Zwalnianie nacisku: automatyczne.
- Odczyt wyniku: w oprogramowaniu.
- Maksymalna wysokość części badanej: 90 mm.
- Ustawianie ostrości w osi Z: automatyczne.
- Wielkość stolika: 135 x 135 mm.
- Pozycjonowanie stolika: $0,1 \mu\text{m}$.
- Wymiary urządzenia (szer. x głęb. wys.): 392 x 533 x 550 mm.
- Masa urządzenia: ok. 35 kg.

3.2. Badanie składu chemicznego metodą spektrometrii optycznej

3.2.1. Optyczny spektroskop metalograficzny Metal Lab Plus



Rys. 39. Metal Lab Plus firmy G.N.R.



Rys. 40. Badanie składu chemicznego materiału koła zębatego walcowego



Rys. 41. Ślady powstałe po badaniu składu chemicznego blachy

Optyczny spektroskop metalograficzny Metal Lab Plus (rys. 39) jest nową wersją urządzenia, o najnowszych rozwiązaniach technicznych i ergonomicznej konstrukcji. Służy do analizy składu chemicznego badanych próbek (rys. 40 i 41). Wynikiem badań jest procentowa zawartość pierwiastków chemicznych w próbce. Analizować można stopy: żelaza, aluminium, miedzi, niklu, kobaltu, cynku, ołowiu, magnezu, tytanu itp.

Wybrane dane techniczne:

- System optyczny: CCD o wysokiej rozdzielczości, komora optyczna, system próżniowy, do 16 detektorów CCD w stanie stałym w zależności od zastosowania.
- Pole widma: szerokość od 130 do 900 nm, wysoka jasność.
- Źródło: wieloczęstotliwościowy HEPS źródłem iskry, parametry wzbudzenia w pełni kontrolowane.
- Elektroda: wolframowa.
- Oprogramowanie MLab obejmuje m.in. analizę, standaryzację, generowanie i drukowanie certyfikatów, opcje sieciowej transmisji wyników, zdalną diagnostykę.
- W zestawie próbki materiałów do przeprowadzania procesu standaryzacji.
- Pompa próżniowa generuje próżnię na poziomie 80-100 mmT (militorów).
- Gaz szlachetny używany podczas badania składu chemicznego: argon klasy 5.0.
- Wymiary urządzenia (dł. x szer. x wys.): 93 x 94 x 101 cm.
- Masa urządzenia: ok. 160 kg.

3.3. Przygotowanie zglądów metalograficznych

3.3.1. Urządzenia do kompleksowego przygotowania próbek materiałowych



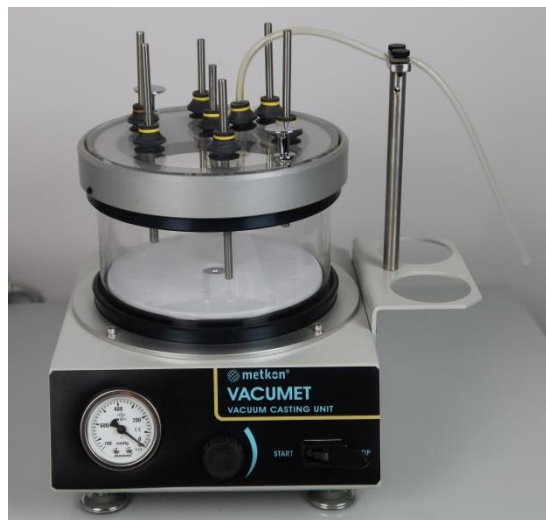
Rys. 42. MICRACUT 201 firmy Metkon

Automatyczna, wysokoobrotowa, precyzyjna przycinarka stołowa (rys. 42), zaprojektowana do delikatnego cięcia wszelkich materiałów, wyposażona w ruchomy stolik z rowkami typu "T". Urządzenie można programować za pomocą ekranu dotykowego o przekątnej 5,7", sterownika Siemens PLC i kolorowego ekranu LCD z parametrami cięcia.

Przecinarka precyzyjna MIRACUT jest przeznaczona do precyzyjnego i wolnego od deformacji cięcia metali i ich stopów, ceramiki, podzespołów elektronicznych, kryształów, kompozytów, biomateriałów, węglików spiekanych, minerałów itp.

Wybrane dane techniczne:

- Zakres cięcia: $\varnothing$ 75 mm, # 40 x 150 mm.
- Zakres pozycjonowania osi:
X = 25 mm, Y = 180 mm, Z = 45 mm.
- Wymiary stołu typu "T" (szer. x głęb.):
196 x 190 mm.
- Obroty tarczy: 500 ÷ 5000 obr./min.
- Dokładność pozycjonowania w osi X: 5 μ m.
- Prędkość posuwu w osi Y: 20 ÷ 1500 μ m/s.
- Metoda cięcia: posuw stołu.
- Wymiary (szer. x głęb. x wys.): 660 x 750 x 450 mm.
- Masa urządzenia: 100 kg.



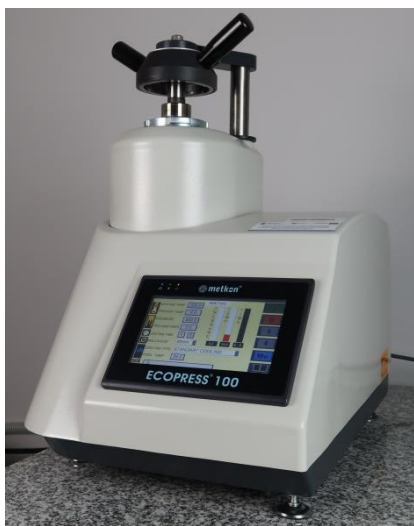
Rys. 43. VACUMET firmy Metkon

VACUMET (rys. 43) jest przyrządem do impregnacji próżniowej, zaprojektowanym z myślą o usuwaniu powietrza uwięzionego w zglądach oraz ulepszaniu (usprawnianiu) procesu utwardzania mieszanki epoksydowej na krawędziach zglądu.

Urządzenie pozwala na zalewanie próbek żywicą w podciśnieniu, dzięki czemu żywica wypełnia wszelkie pory i szczeliny próbki, ściśle przylegając do powierzchni inkludowanego detalu. Dedykowana przede wszystkim do impregnacji próżniowej na zimno w żywicach epoksydowych materiałów porowatych.

Wybrane dane techniczne:

- System próżniowy: 0,65 bar.
- Ciśnienie powietrza: 4,5 ÷ 6 bar.
- Wymiary (szer. x głęb. x wys.):
30 x 31 x 35 cm.
- Masa urządzenia: 8 kg.



Rys. 44. ECOPRESS 100 firmy Metkon

Programowalna, automatyczna prasa do inkludowania (rys. 44) z pojedynczym cylindrem, wyposażona w panel sterowania w postaci ciekłokrystalicznego, dotykowego wyświetlacza LCD 5,7".

Wybrane dane techniczne:

- Liczba form: 1.
- Maksymalne ciśnienie: 300 bar.
- Maksymalna temperatura: 200°C.
- Moc grzewcza: 1250 W.
- Chłodzenie wodne: Tak.
- Montaż form: 25 - 50 mm.



Rys. 45. DIGIPREP 251 firmy Metkon

Automatyczna szlifierko-polerka metalograficzna (rys. 45) z możliwością preparatyki próbek zarówno inkludowanych, jak i nieinkludowanych, wyposażona w dotykowy panel sterowania LCD 5,7" oraz dozownik automatyczny zawieszin polerskich. Urządzenie posiada talerz aluminiowy ($\varnothing = 250$ mm).

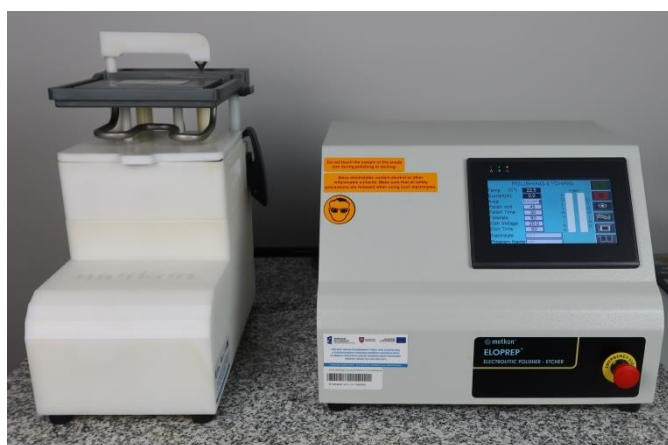
Wybrane dane techniczne:

- Docisk indywidualny: 5 - 100 N; centralny: 30 - 500 N.
- Moc silnika głowicy: 100 W; podstawy: 0,75 W.
- Prędkość głowicy: 50 - 150 obr./min;
podstawy: 50 - 600 obr./min.
- Dokładność pomiaru głębokości szlifowania: 10 μ m.
- Wymiary (szer. x głęb. x wys.): 480 x 730 x 640 mm.
- Masa urządzenia: 73 kg.

System do automatycznego elektropolerowania i trawienia zglądów metalograficznych (rys. 46) w sposób zapewniający ekonomiczną i powtarzalną preparatykę.

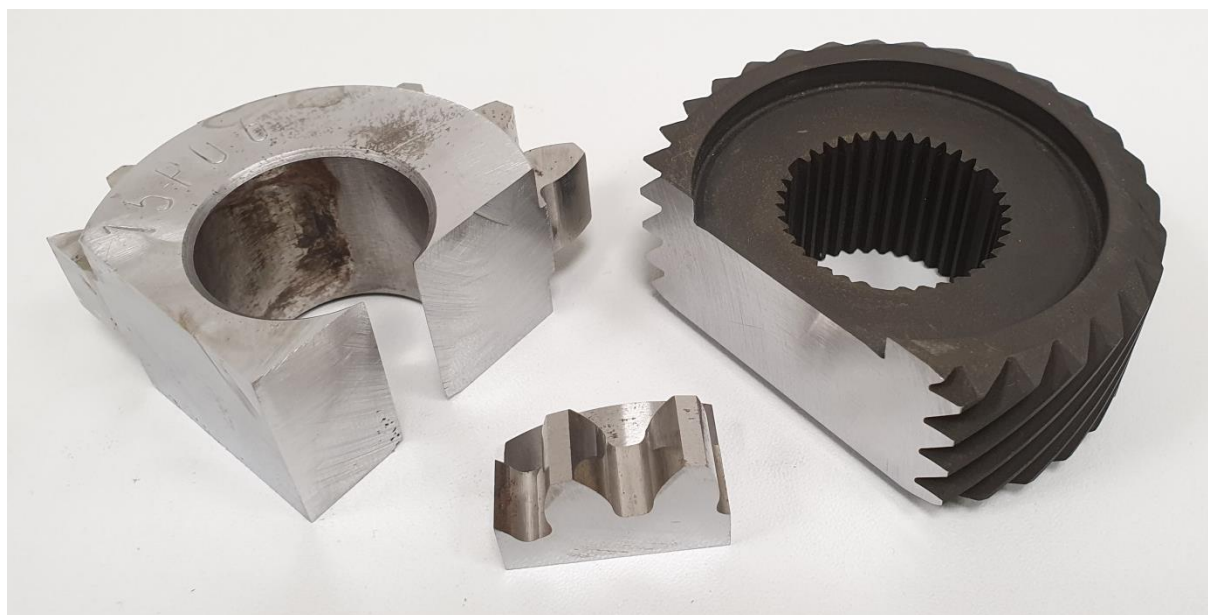
Wybrane dane techniczne:

2. Ogranicznik temperatury: 30 - 50°C.
3. Pompa: mieszadło magnetyczne.
4. Zbiornik elektrolitu: 1000 ml.
5. Zbiornik trawienia: 1200 ml.
6. System chłodzenia: zintegrowany.
7. Wymiary maski: 0- 0,5 - 1 - 2 - 5 cm².
8. Wymiary (szer. x głęb. x wys.): Jednostka kontrolna:
404 x 370 x 305 mm.
9. Jednostka polerująca:
210 x 370 x 305 mm.
10. Masa jednostki kontrolnej: 20 kg;
polerującej: 5 kg.

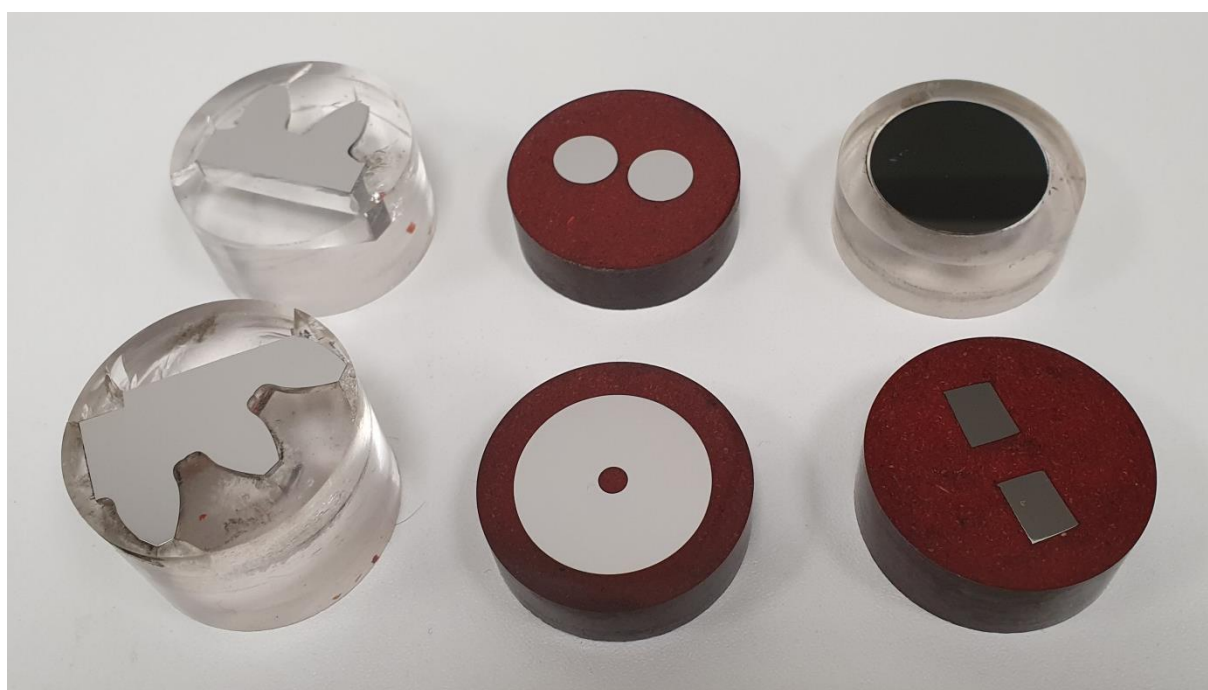


Rys. 46. ELOPREP firmy Metkon

Wypożyczenie laboratorium materiałowego umożliwia kompleksowe przygotowanie zglądów metalograficznych wg specyfikacji klienta oraz przygotowanie próbek do dalszych badań (np. twardości, analizy składu chemicznego). Przykłady przedstawiono na rys. 47-48.



Rys. 47. Cięcie materiałów



Rys. 48. Przykłady zglądów metalograficznych

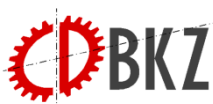
OFERTA USŁUGOWA I-CDBKZ

Badania laboratoryjne:

- Pomiar odchyłek kształtu, kierunku, położenia i bicia.
- Pomiar chropowatości, konturu i topografii powierzchni.
- Pomiar cech geometrycznych z zastosowaniem współrzędnościowych maszyn pomiarowych.
- Pomiar geometryczny za pomocą konwencjonalnych przyrządów pomiarowych (wysokościomierz, suwmiarki, mikrometry, czujniki zegarowe itp.).
- Kontrola i pomiar kół zębatach i wzorców kół zębatach.
- Pomiar współrzędnościowym skanerem optycznym 3D, porównanie do modelu CAD, inżynieria odwrotna, analiza GD&T.
- Badania wytrzymałościowe i zmęczeniowe kół zębatach walcowych i stożkowych oraz środków smarnych, materiałów konstrukcyjnych oraz technologii modyfikacji zęba (np. zacieranie, pitting i mikropitting).
- Statyczna próba rozciągania, ściskania i zginania.
- Stereoskopowe badania odkształceń.
- Kompleksowe przygotowanie złądów metalograficznych.
- Obserwacje metalograficzne mikrostruktury próbek pod mikroskopem.
- Pomiar twardości i mikrotwardości (metodami: Brinella, Rockwella, Vickersa).
- Badania składu chemicznego stopów metali metodą spektrometrii optycznej (stopy metali na bazie: żelaza, aluminium, niklu, tytanu).
- Optyczne pomiary geometrii z wykorzystaniem mikroskopu.
- Analiza naprężeń resztkowych w warstwie wierzchniej.

Usługi dla przemysłu:

- Usługi doradztwa technicznego i szkoleniowe (pomoc w programowaniu maszyn współrzędnościowych i skanerów optycznych, interpretacja rysunków konstrukcyjnych).
- Diagnoza problemów technologicznych oraz opracowanie propozycji ich rozwiązania.
- Gotowość i kompetencje do współtworzenia konsorcjów naukowych lub naukowo-przemysłowych.
- Gotowość do realizacji prac merytorycznych w ramach badań przemysłowych lub eksperymentalnych prac rozwojowych.



Instytut - Centrum Doskonałości Badań Kół Zębatych

ul. Poznańska 201-205,

62-800 Kalisz



dr inż. Antoni Niepokólczycki, profesor wizytujący

Dyrektor Instytutu - Centrum Doskonałości Badań Kół Zębatych

☎ +48 62 500 07 91, 📠 +48 695 905 440

✉ a.niepokolczycki@akademikaliska.edu.pl

mgr Katarzyna Doberstein-Ganszer

Specjalista ds. Administracyjnych, Sekretarz Instytutu - Centrum Doskonałości Badań Kół Zębatych

☎ +48 62 50 00 796

✉ icdbkz@akademia.kalisz.pl

Zespół Badawczo – Analityczny Instytutu - Centrum Doskonałości Badań Kół Zębatych

mgr inż. Paweł Nowakowski - kierownik

mgr inż. Adam Hofman

mgr inż. Adrian Dera

mgr inż. Szymon Witczak

inż. Agata Świerek

☎ +48 62 50 00 790

✉ icdbkz@akademia.kalisz.pl

Akademia Kaliska

im. Prezydenta Stanisława Wojciechowskiego

ul. Nowy Świat 4,

62-800 Kalisz

NIP: 6181880248, REGON: 250938764

☎ +48 62 76 79 500 lub +48 62 75 72 618

📠 +48 62 76 79 510

✉ rektorat@pwsz.kalisz.pl



NOTATKI

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

NOTATKI

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....