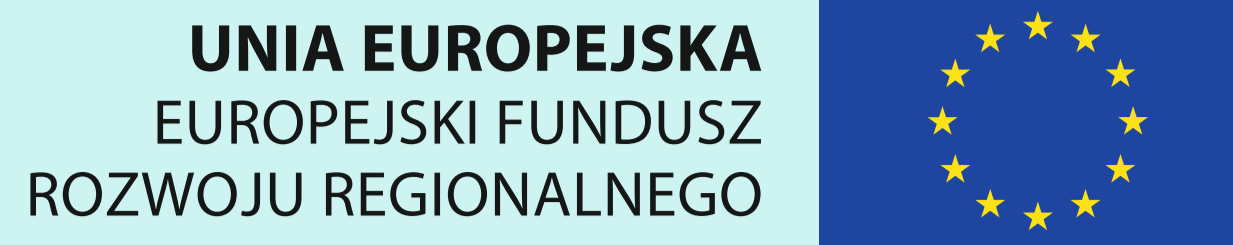
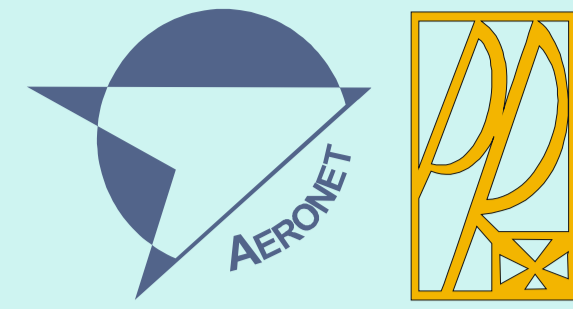


# Nowoczesne technologie materiałowe stosowane w przemyśle lotniczym

## Modern material technologies in aerospace industry



KONFERENCJA  
RADY PARTNERÓW CZT AERONET  
i PANELE EKSPERTÓW  
25-26 Czerwca 2012

# ZB 1

### Opracowanie zaawansowanych procesów obróbki HSM trudnoobrabialnych stopów lotniczych

### Development of advanced processes of HSM of almost unworkable aeronautical alloys

Politechnika Rzeszowska, Politechnika Lubelska, Politechnika Łódzka, Politechnika Warszawska

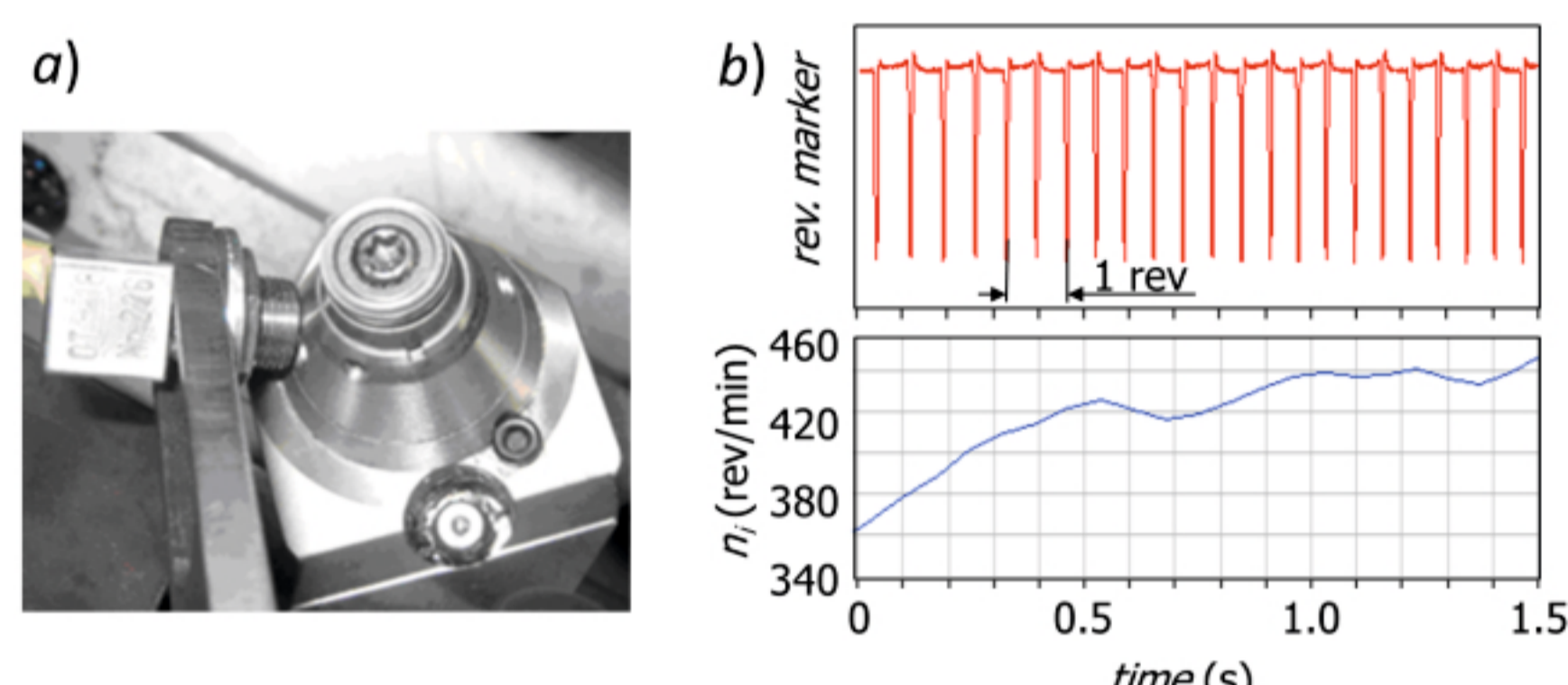
#### Wyniki badań Results

#### 1. Wstęp

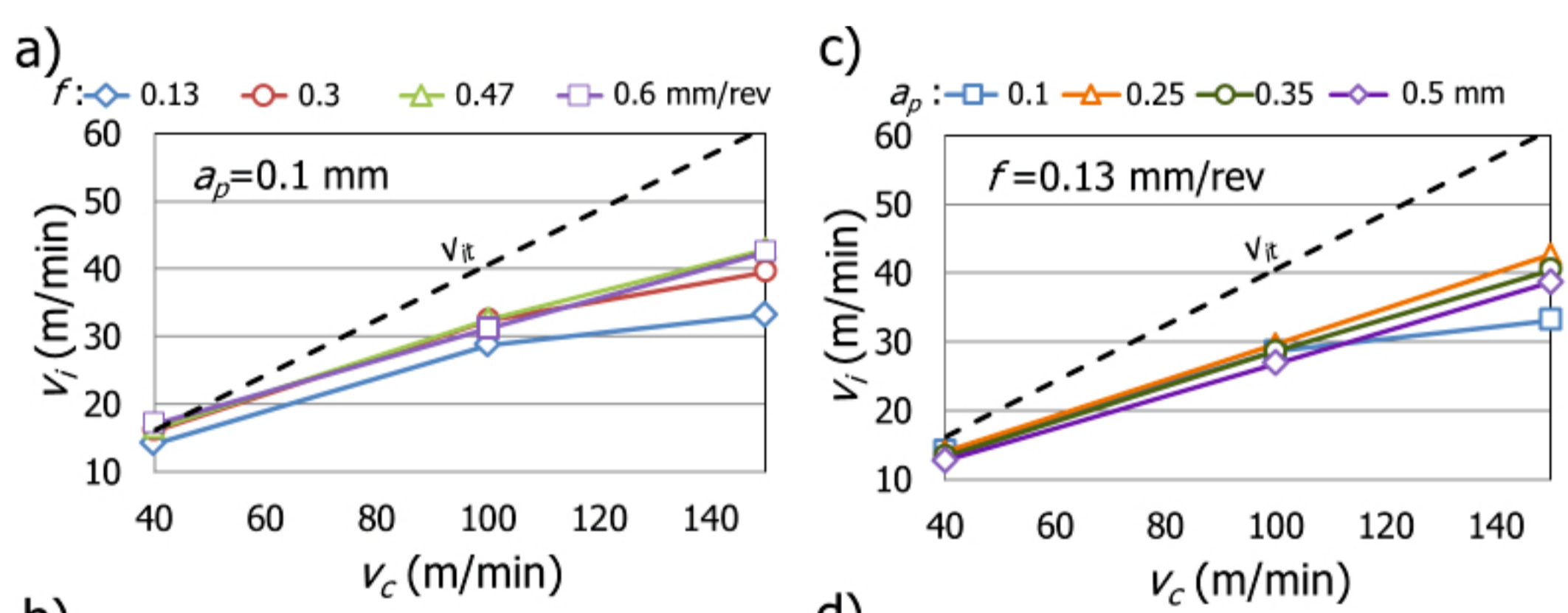
W przemyśle lotniczym często stosowane są trudnoobrabialne materiały. Obróbka tych materiałów jest zagadnieniem stosunkowo nowym i stąd brakuje zgromadzonych doświadczeń dotyczących najbardziej wydajnych, ekonomicznych warunków skrawania tych materiałów. Podejmowane są różne próby poprawienia wydajności skrawania tych materiałów, przy jednoczesnym zachowaniu trwałości ostrza w rozsądnych granicach. Jednym ze sposobów na wydłużenie czasu skrawania pojedynczym ostrzem jest zastosowanie narzędzi z obrotowymi płytkami. Jednak brakuje wciąż kompleksowych badań w zakresie efektywności obróbki za pomocą tego typu narzędzi. Do realizacji badań wykorzystano handlowo dostępne narzędzia typu SPRT (Self-Propelled Rotary Tool, czyli narzędzie z płytką obracającą się na skutek oddziaływania wióra na powierzchnię natarcia) firmy Mitsubishi Carbide z płytkami z węgla spiekanego. W ramach projektu przeprowadzono badania wpływu parametrów skrawania na równomierność prędkości obrotowej płytki, badania wpływu parametrów skrawania na siły skrawania, badania wpływu parametrów skrawania na jakość powierzchni obrabianej podczas toczenia wzdłużnego stali wysokostopowej 15H11MF.

#### 2. Badanie prędkości obrotowej

Pomiary przeprowadzono podczas próby pracą z różnymi parametrami skrawania wykorzystując sygnały z czujnika bezkontaktowego (rys. 1a). Za pomocą specjalnego programu (rys. 1b) przeprowadzono pomiar prędkości obrotowej ni płytki dla różnych prób, a następnie wykonano analizę wpływu parametrów skrawania na wartość prędkości obrotowej płytki vi a wyniki analizy przedstawiono na rys. 2.



Rys. 1 (a) Sposób pomiaru prędkości obrotowej (b) sygnał zarejestrowany z czujnika (powyżej) i obliczona prędkość obrotowa płytki (poniżej)

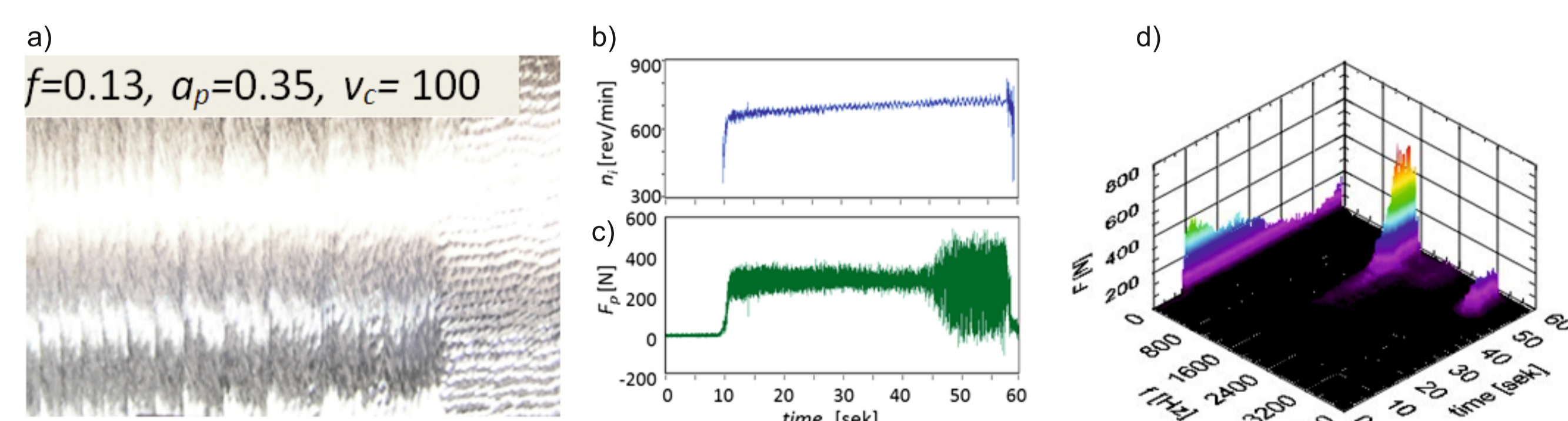


Rys. 2. Prędkość obrotowa płytki w zależności od prędkości skrawania (a) dla  $a_p=0.1\text{mm}$  i różnych posuwów, (b) dla  $a_p=0.5\text{mm}$ , (c) dla  $f=0.13\text{mm/obr}$  i różnych głębokości skrawania, (d) dla  $f=0.6\text{mm/obr}$  i różnych głębokości skrawania

Przedstawione wykresy wykazują liniowy wzrost prędkości płytki wraz ze wzrostem prędkości skrawania, posuwu oraz liniowo malejącą (w niewielkim stopniu) prędkość płytki wraz ze wzrostem głębokości skrawania. W efekcie dla stali wysokostopowej uzyskano zależność:

$$v_i = 11.6f + 0.25v_c - 0.33a_p + 1.9$$

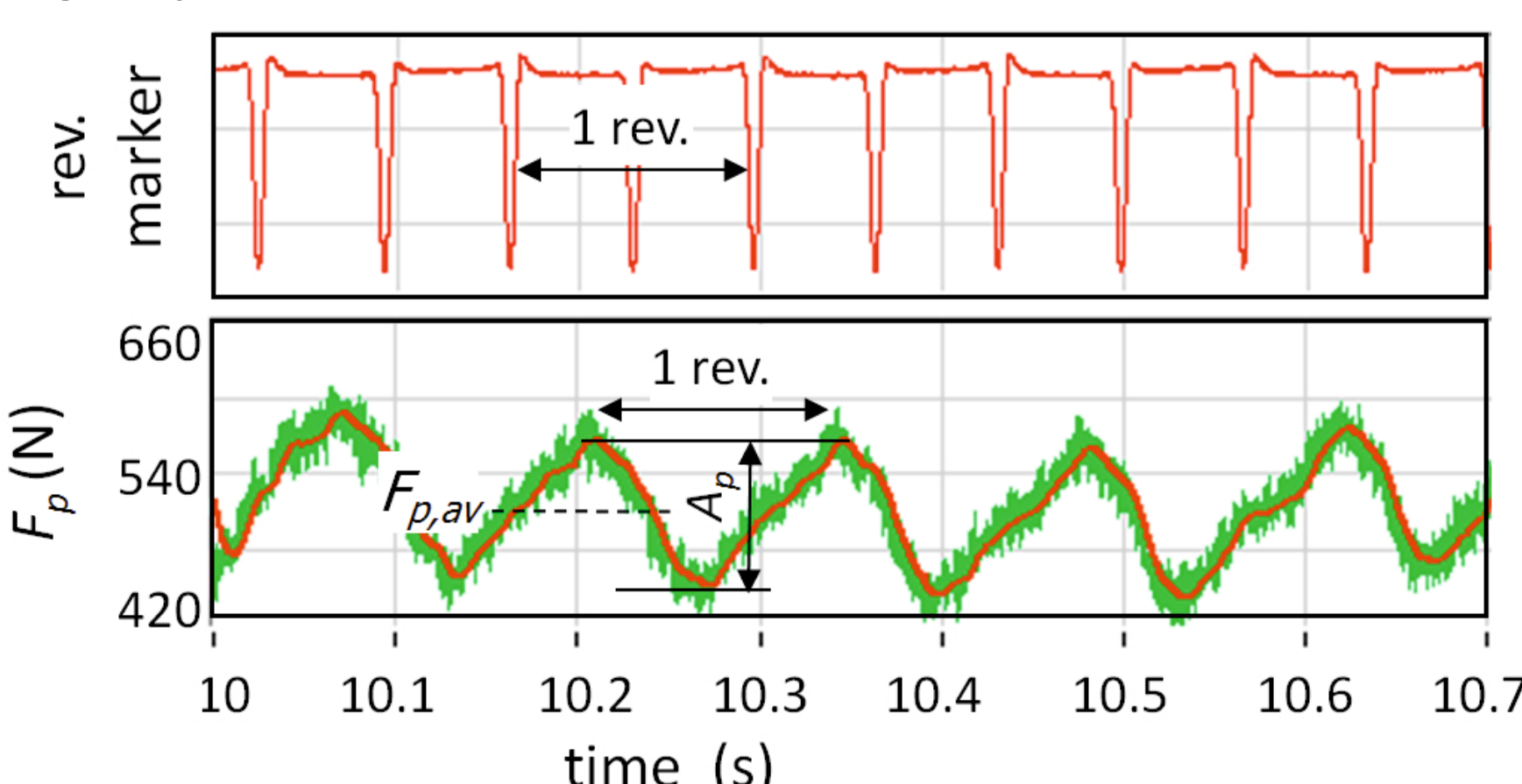
Podczas badań zaobserwowano również, iż w obracającej się płytce potrzebuje czasu na ustabilizowanie się prędkości. Podczas stabilizacji prędkości panują zmienne warunki skrawania. Przekłada się to między innymi na jakość warstwy wierzchniej. W przedstawionym na rys. 3 przykładzie w miarę wzrostu prędkości obrotowej zmieniała się długość fali pozostawianej przez narzędzie na powierzchni obrabianej. Po osiągnięciu stabilnej prędkości (po ok. 35 sekundach skrawania) rozpoczął się rozwój drgań samowzбудnych narzędzia. Przeprowadzona analiza zależności czasu stabilizacji płytki od parametrów skrawania wykazała, iż czas stabilizacji rośnie wraz ze wzrostem każdego z parametrów.



Rys. 3. Zmiana powierzchni obrabianej oraz rozwój drgań samowzбудnych (a) powierzchnia obrabiana (b) przebieg prędkości obrotowej płytki (c) siła  $F_p$  (d) STFT siły  $F_p$

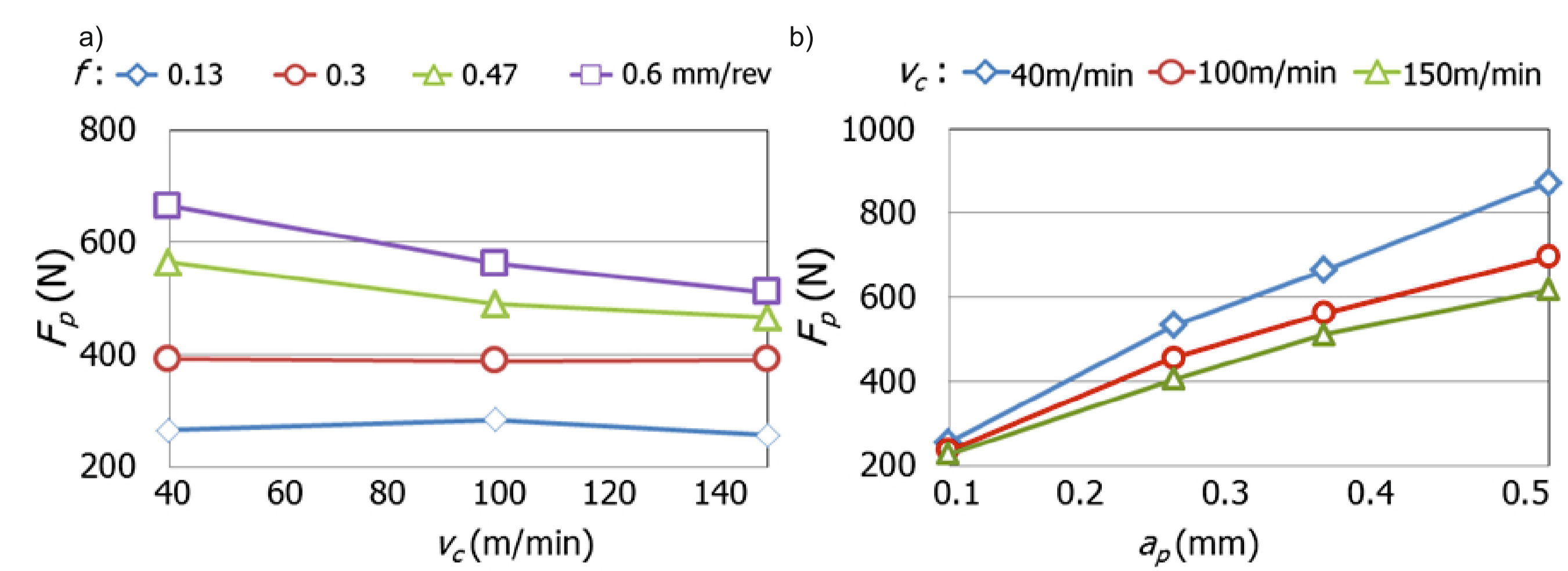
#### 3. Analiza sił skrawania i ich wpływ na jakość warstwy wierzchniej

Siły skrawania podczas obróbki narzędziami SPRT charakteryzują się oscylacją, o częstotliwości równej częstotliwości obrotowej płytki (rys. 4). Oscylacja ta jest konsekwencją bicia promieniowego płytki.



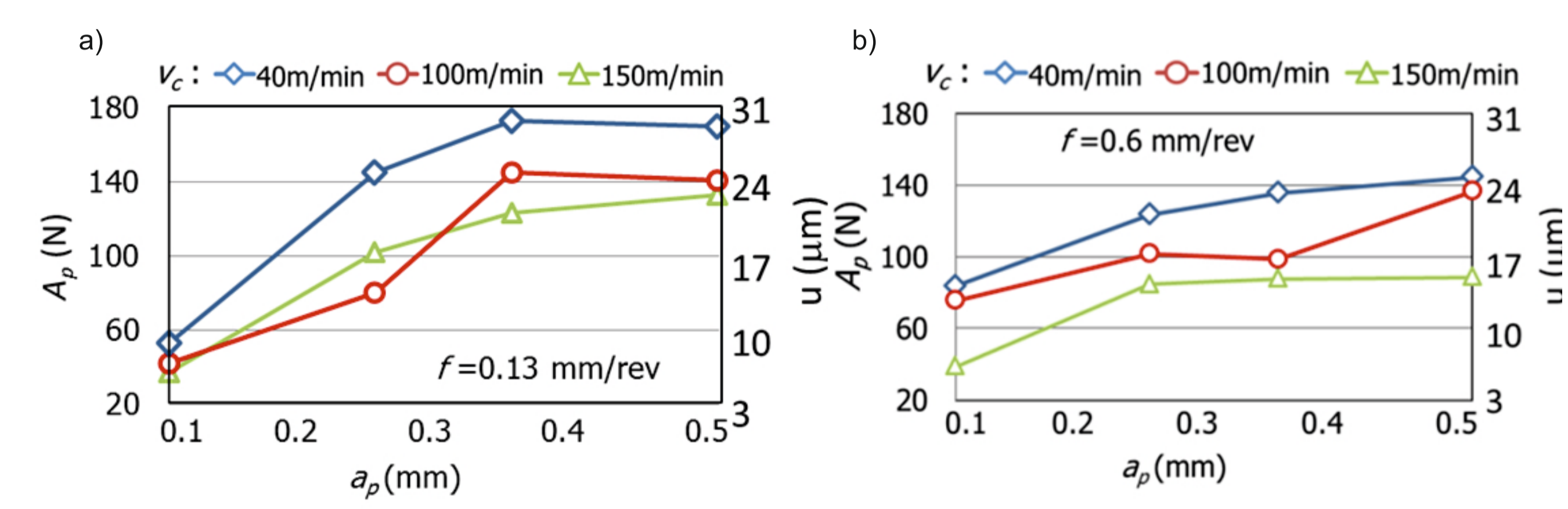
Rys. 4. Przebieg siły  $F_p$  (poniżej) i prędkości obrotowej płytki (powyżej) podczas toczenia narzędziem SPRT

Wartość średnia sił, podobnie jak w toczeniu konwencjonalnym, rośnie wraz ze wzrostem posuwu i głębokości skrawania i maleje wraz ze wzrostem prędkości skrawania (dla przykładu wartość średnia siły odporowej  $F_p$  na rys. 5).



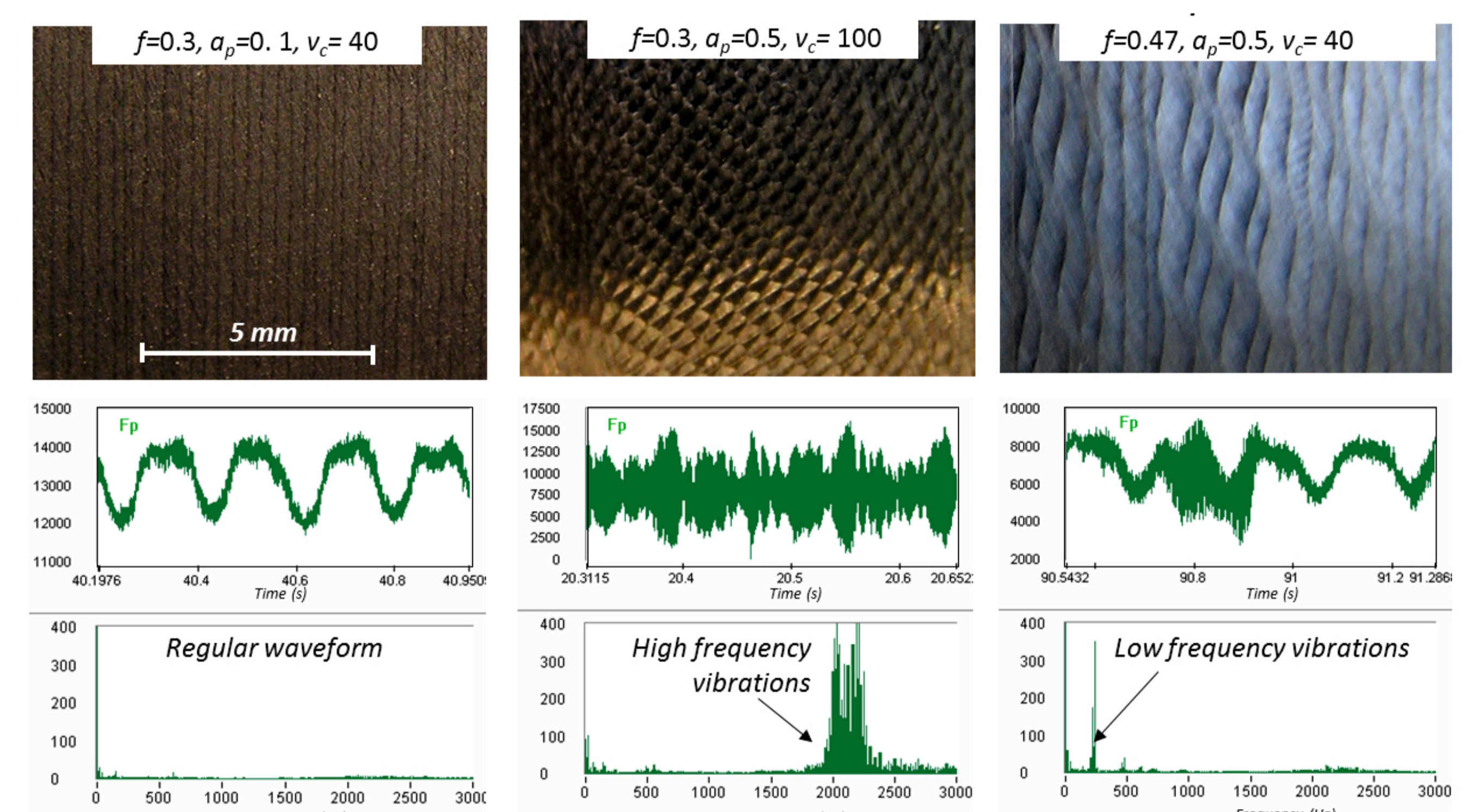
Rys. 5. Zależność wartości średniej siły odporowej  $F_p$  (a) od  $v_c$  dla  $a_p=0.35\text{mm}$  (b) od  $a_p$  dla  $f=0.6\text{mm/obr}$

Dużo bardziej jednak istotny jest wpływ parametrów skrawania na wartość oscylacji sił. Na rys. 6 przedstawiono zależność amplitudy siły odporowej  $A_p$  od prędkości skrawania dla różnych posuwów i wybranych głębokości skrawania. Można na podstawie nich zauważyć, że amplituda  $A_p$ , a tym samym ugięcie narzędzia m wyznaczone na podstawie sztywności narzędzia, rosną wraz ze wzrostem głębokości skrawania i maleją wraz z posuwem i prędkością skrawania.



Rys. 6. Zależność oscylacji siły odporowej  $A_p$  i ugięcia m od głębokości skrawania dla różnych  $v_c$

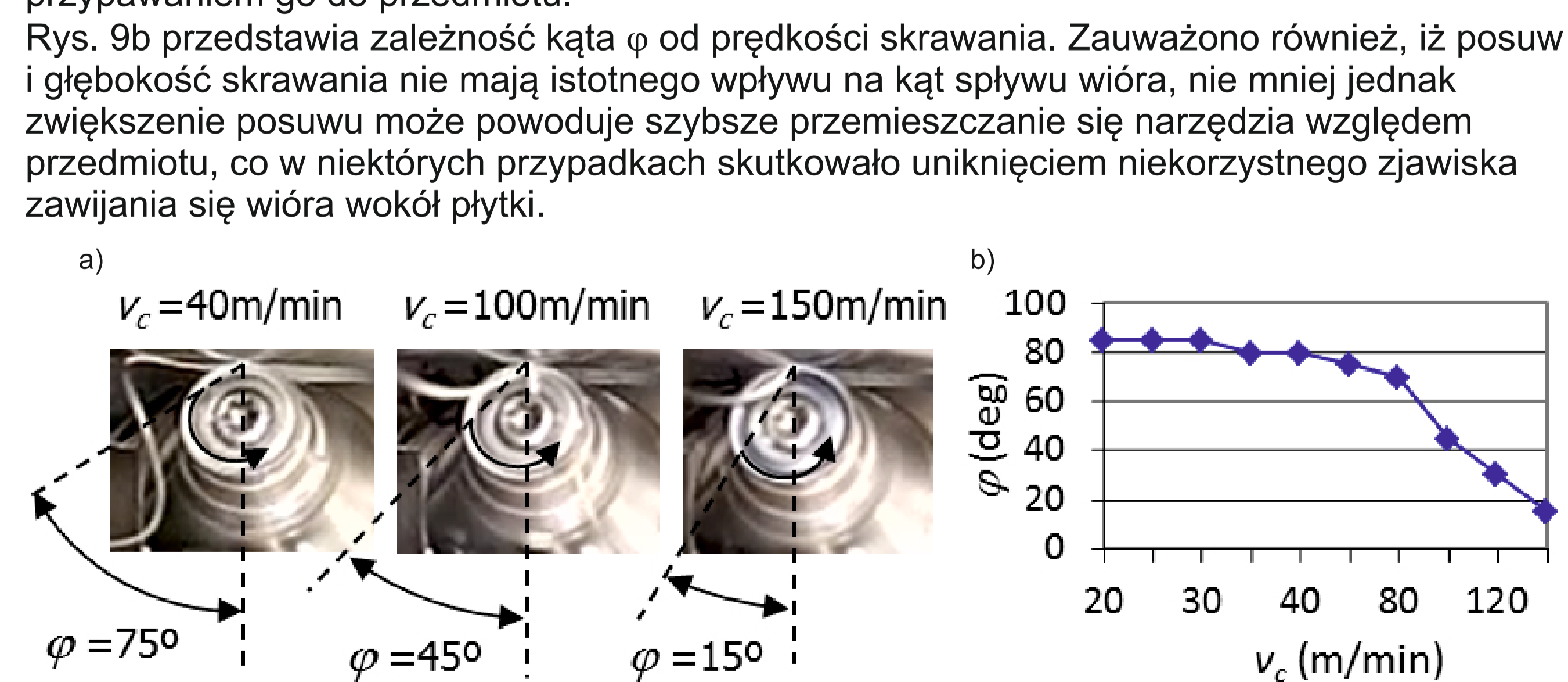
Analiza sił skrawania wykazała, iż podczas toczenia pojawiały się drgania narzędzia i przedmiotu, co skutkowało pojawianiem się fałsistości na powierzchni obrabianej. Na rys. 7 przedstawiono zależność powierzchni obrabianej od sił skrawania. W pierwszym przypadku, gdy siły skrawania mają regularny charakter, powierzchnia obrabiana jest gładka. W drugim przypadku pojawia się składowa wysokoczęstotliwościowa (ponad 2000 Hz), charakterystyczna dla drgań narzędzia. Skutkuje ona śladami na powierzchni obrabianej w postaci fałsistości o małym okresie. W ostatnim przypadku pojawiają się składowe niskoczęstotliwościowe (ok 200 Hz), odpowiadające drganiom przedmiotu. Skutkuje to pojawieniem się fali o dłuższym okresie.



Rys. 7. Zależność powierzchni obrabianej od sił skrawania (a) gładka powierzchnia, (b) drgania narzędzia, (c) drgania przedmiotu

#### 4. Wpływ parametrów skrawania na kąt spływu wióra

Podczas wykonywania niektórych prób wystąpiło zjawisko adhezji wióra w kierunku powierzchni obrabianej (rys. 8). Celem poznania przyczyn zaistniałego zjawiska wykonano rejestrację wideo procesu i następnie przeanalizowano kąt spływu wióra dla poszczególnych parametrów skrawania. Na rys. 9a przedstawiono zdjęcia wióra dla wybranych prędkości skrawania. Można tu zauważyć, że im większa prędkość skrawania, tym wiór spływa bardziej w kierunku powierzchni obrabianej, co może skutkować zawinięciem wióra wokół płytki i przypianiem go do przedmiotu. Rys. 9b przedstawia zależność kąta  $\phi$  od prędkości skrawania. Zauważono również, iż posuw i głębokość skrawania nie mają istotnego wpływu na kąt spływu wióra, nie mniej jednak zwiększenie posuwu może powoduje szybsze przemieszczanie się narzędzia względem przedmiotu, co w niektórych przypadkach skutkowało uniknięciem niekorzystnego zjawiska zawijania się wióra wokół płytki.



Rys. 9. Zależność kąta spływu wióra od prędkości skrawania,  $f=0.3\text{mm/obr}$ ,  $a_p=0.1\text{mm}$



#### Zakres zastosowania narzędzi sprt do obróbki stali wysokostopowej

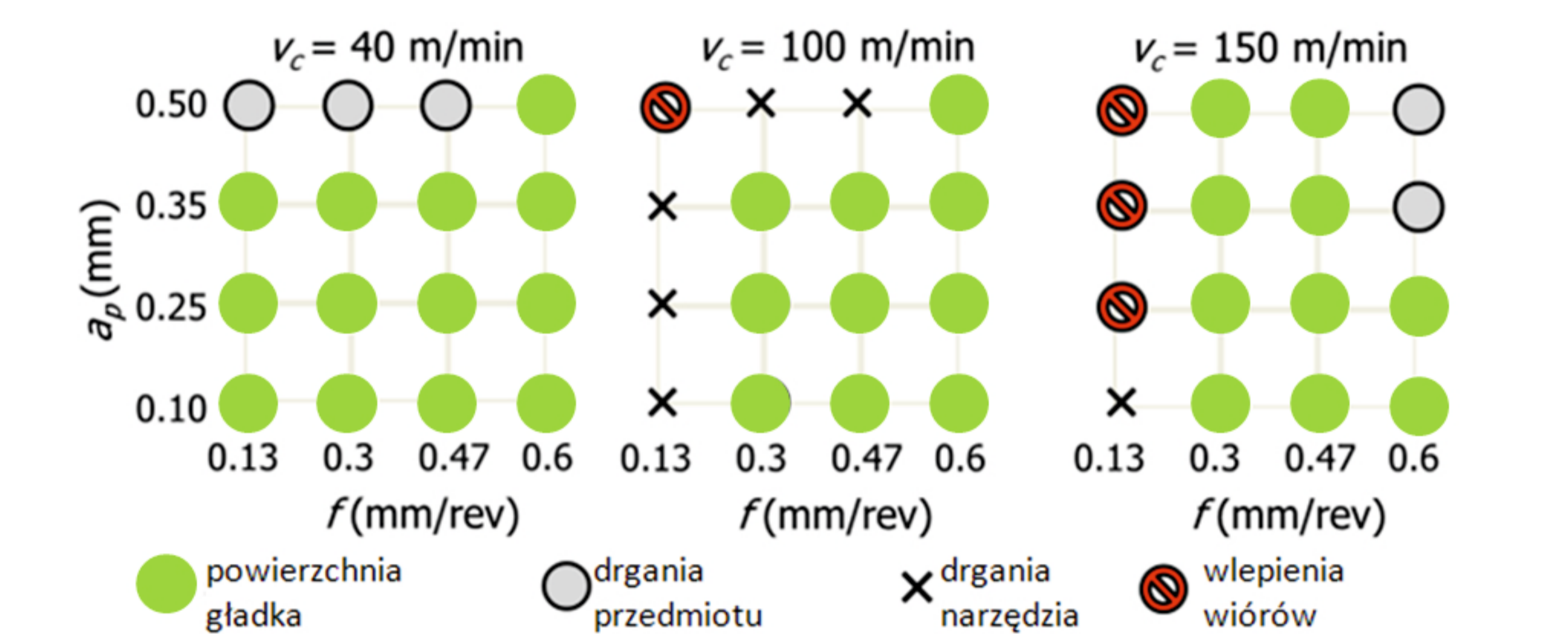
Rozważając różne zjawiska występujące podczas toczenia na sucho stali wysokostopowej narzędziami SPRT i ich wpływ na jakość powierzchni obrabianej ustalono następujące efekty:

1. powierzchnia gładka,
2. powierzchnia z fałsistością na skutek drgania przedmiotu,
3. powierzchnia z fałsistością na skutek drgania narzędzia,
4. adhezja wióra.

Występowanie zjawiska 3 i 4 dyskwalifikuje zastosowanie narzędzia w danym przypadku. Wyniki dla różnych parametrów skrawania przedstawiono w na rys. 10.

Na podstawie przeprowadzonych badań zauważono, że:

- prędkość obrotowa płytki zależy od wszystkich trzech parametrów skrawania
- siła skrawania oscyluje z częstotliwością równą częstotliwości obrotu płytki
- zastosowanie zbyt dużych głębokości skrawania oraz może powodować występowanie drgań narzędzia
- optymalne parametry przekroju wióra otrzymujemy dla małych i średnich głębokości oraz średnich i dużych posuwów
- zwiększenie prędkości skrawania wpływa na wyeliminowanie drgań, ale przy małym posuwie może powodować zawijanie wióra pod obracającą się płytkę i wgniatanie go w powierzchnię obrabianą, dlatego zwiększeniu prędkości skrawania powinno towarzyszyć zwiększenie posuwu.



Rys. 10. Zastosowanie parametrów skrawania do toczenia na sucho stali wysokostopowej narzędziami SPRT

#### Wnioski Conclusions

Podczas badań zaobserwowano tendencję zawijania się wióra pod obracającą się płytkę przy skrawaniu. Tendencja ta rośnie wraz ze wzrostem prędkości skrawania, co wynika ze zmiany kąta spływu wióra w kierunku powierzchni obrabianej. W wyniku analizy sił skrawania zauważono cyklicznie zmieniającą się co obrót płytki wartość siły skrawania. Fluktuacje sił skrawania w połączeniu z niską sztywnością narzędzi mogą powodować drgania narzędzia i w efekcie fałsistość powierzchni obrabianej. Niekorzystnym z punktu widzenia obróbki zjawiskiem jest również nierównomierność prędkości obrotowej płytki. Badania wykazały, że zastosowanie małych posuwów, głębokości i prędkości skrawania skutkuje długim czasem (sięgającym nawet kilkudziesięciu sekund) stabilizacji prędkości obrotowej płytki. Mimo możliwości pojawienia się problemów podczas obróbki narzędziami SPRT, przy odpowiednim dobraniu parametrów możliwe jest uzyskanie pożądanej powierzchni obrabianej. W przypadku stali wysokostopowej 15H11MF nie powinno stosować się dużych głębokości skrawania (głębokość optymalna  $a_p=0.25\text{mm}$ ), dużych prędkości skrawania oraz powinno się stosować średnie bądź wysokie posuwu.

#### Conclusions

Comprehensive experimental investigation of self-propelled rotary cutting tools applicability for turning of high alloy steel 15H11MF was presented. Some important drawbacks and limitations of SPRT application were revealed. The most important is tendency of swirling the chips around rotating tool rake face and pulling them under the insert on the side of machined surface, which results in adhered chips and unacceptable surface finish. Low stiffness of the tool causes run-out of the insert and waviness of the machined surface. The tool has also tendency to chatter with high frequencies, especially while machining with low feeds and high cutting speeds. Range of cutting parameters allowing for achievement acceptable surface

#### Przykłady współpracy z przemysłem lotniczym Collaboration with aviation industry

Niniejsze badania były zrealizowane ze względu na problemy zgłaszane przez przedsiębiorstwa, zajmujące się obróbką materiałów trudnoobrabialnych (WSK Rzeszów). Celem badań miało być poszukiwanie nowych sposobów obróbki, gwarantujących dłuższą trwałość ostrza, wykonanie zaplanowanej operacji bez konieczności wymiany narzędzia w trakcie jej trwania, lepszą wydajność skrawania przy zachowaniu zadowalającej jakości powierzchni. W wyniku badań stwierdzono, że narzędzia SPRT nadają się do obróbki stali wysokostopowej po precyzyjnym ustaleniu zakresu ich stosowności.

#### Wskaźniki realizacji celów projektu Indicators of the project

**Referaty**  
1. Kossakowska J., Jemieliński K.: *Application of Self-Propelled Rotary Tools for turning of difficult-to-machine materials*, Procedia CIRP 1 (2012) 442 – 447, 5th CIRP Conference on High Performance Cutting 4-7.06.2012

**Publikacje**  
1. Kossakowska J., Jemieliński K.: *Badania prędkości obrotowej płytki w narzędziach SPRT podczas toczenia stali wysokostopowej*, Inżynieria Maszyn, artykuł w recenzji  
2. Kossakowska J.: *Wykorzystanie narzędzi z płytkami obrotowymi do obróbki materiałów trudnoobrabialnych*, Inżynieria Maszyn, artykuł w recenzji

**Prace mgr, dr, hab.**  
**Prace inżynierskie obronione:**  
• Artur Nadolny: *Analiza struktury geometrycznej powierzchni w procesie skrawania narzędziami SPRT* Promotor: dr inż. Joanna Kossakowska obrona 05.2012

**Prace inżynierskie w realizacji**  
• Adam Król: *Badanie wpływu warunków skrawania narzędziami SPRT na prędkość obrotową płytki*, Promotor: dr inż. Joanna Kossakowska

• Maciej Burmajster: *Obróbka stali i tytanu za pomocą narzędzi z płytkami obrotowymi* Promotor: dr inż. Joanna Kossakowska

• Bartłomiej Janas: *Badanie wpływu warunków skrawania na wyniki obróbki Inconelu 617* Promotor: dr inż. Joanna Kossakowska