

Nowoczesne technologie materiałowe stosowane w przemyśle lotniczym

Modern material technologies in aerospace industry

ZB 2 Modelowanie, konstruowanie i kontrolowanie procesu HSM z uwzględnieniem skonfigurowanego układu maszyna- przyrząd-detail

Modeling, construction and control of the HSM process taking into consideration the configured machine-instrument-detail system

Wyniki badań Results

Optimalizacja procesu obróbki skrawaniem lotniczych elementów kształtowych ze stopu tytanu Ti6Al4V z zastosowaniem oprogramowania „AE Production Module” oraz „iMachining”.

Optimization of the machining process aerospace parts titanium alloy Ti6Al4V using the software “AE Production Module” and “iMachining”.

Metodologia badań/Research methodology

Stop Ti-6Al-4V jest najczęściej stosowanym w technice stopem tytanu. Produkcja tego stopu w USA i krajach UE stanowi 60% wszystkich gatunków stopów tytanu. Jego szerokie zastosowanie wynika z dobrych właściwości mechanicznych, podatności do odkształcania plastycznego, obróbki cieplnej i spawania. Duża wytrzymałość względna, mała gęstość, dobra odporność na korozję i możliwość pracy w temperaturze do 450°C powoduje, że stopy tytanu znalazły szerokie zastosowanie w technice lotniczej.

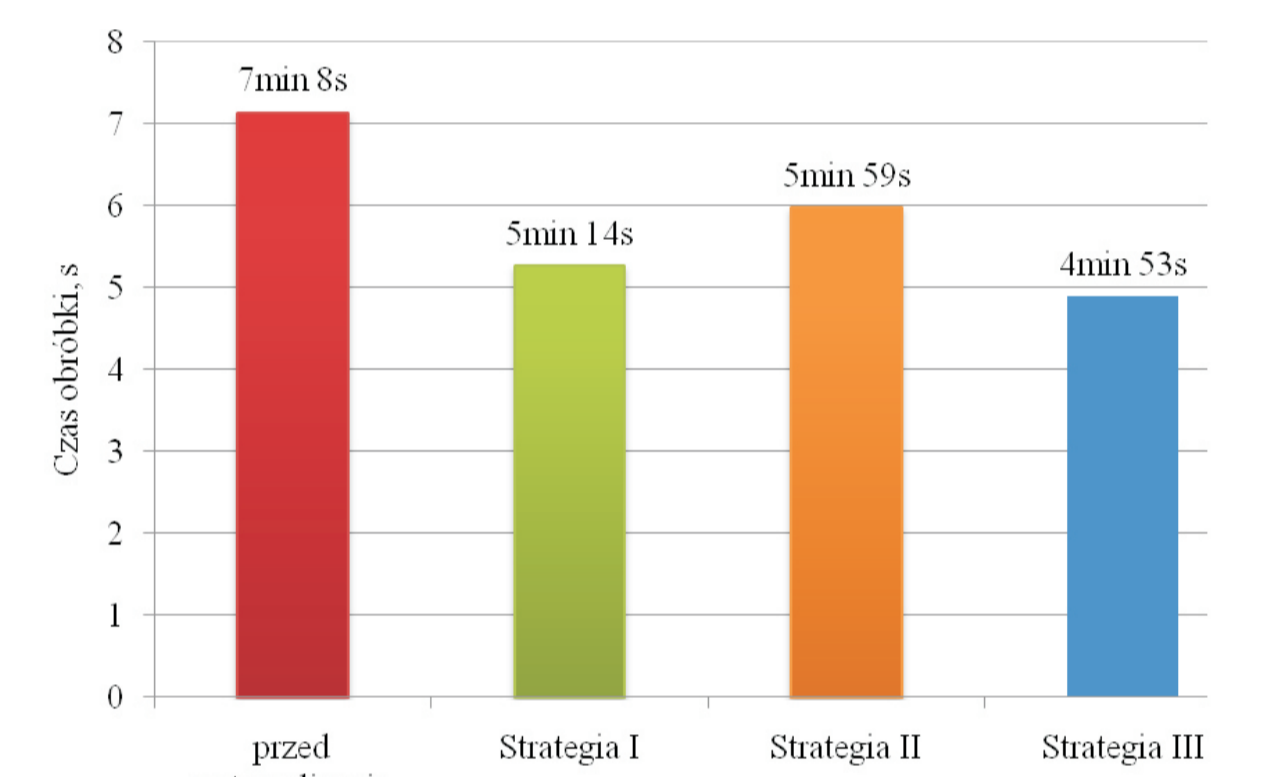
Ti-6Al-4V alloy is the most widely used titanium alloy in the aerospace industry. The production of this alloy in the U.S. and the EU accounts for 60% of all species of titanium alloys. Its widespread use due to the good mechanical properties, susceptibility to plastic deformation, heat treatment and welding. High relative strength, low density, good corrosion resistance and the ability to work at temperatures up to 450 °C causes the titanium alloys are widely used in aerospace engineering.

R _m , MPa	R _{0,2} , MPa	Wydłużenie, % Prawdziwe odkształcenie at break	Gęstość, g/cm ³ Density	Temp. Topnienia Melting point	Przewodność cieplna w 20°C, W/m·K
6	18	60	12	0,3	4

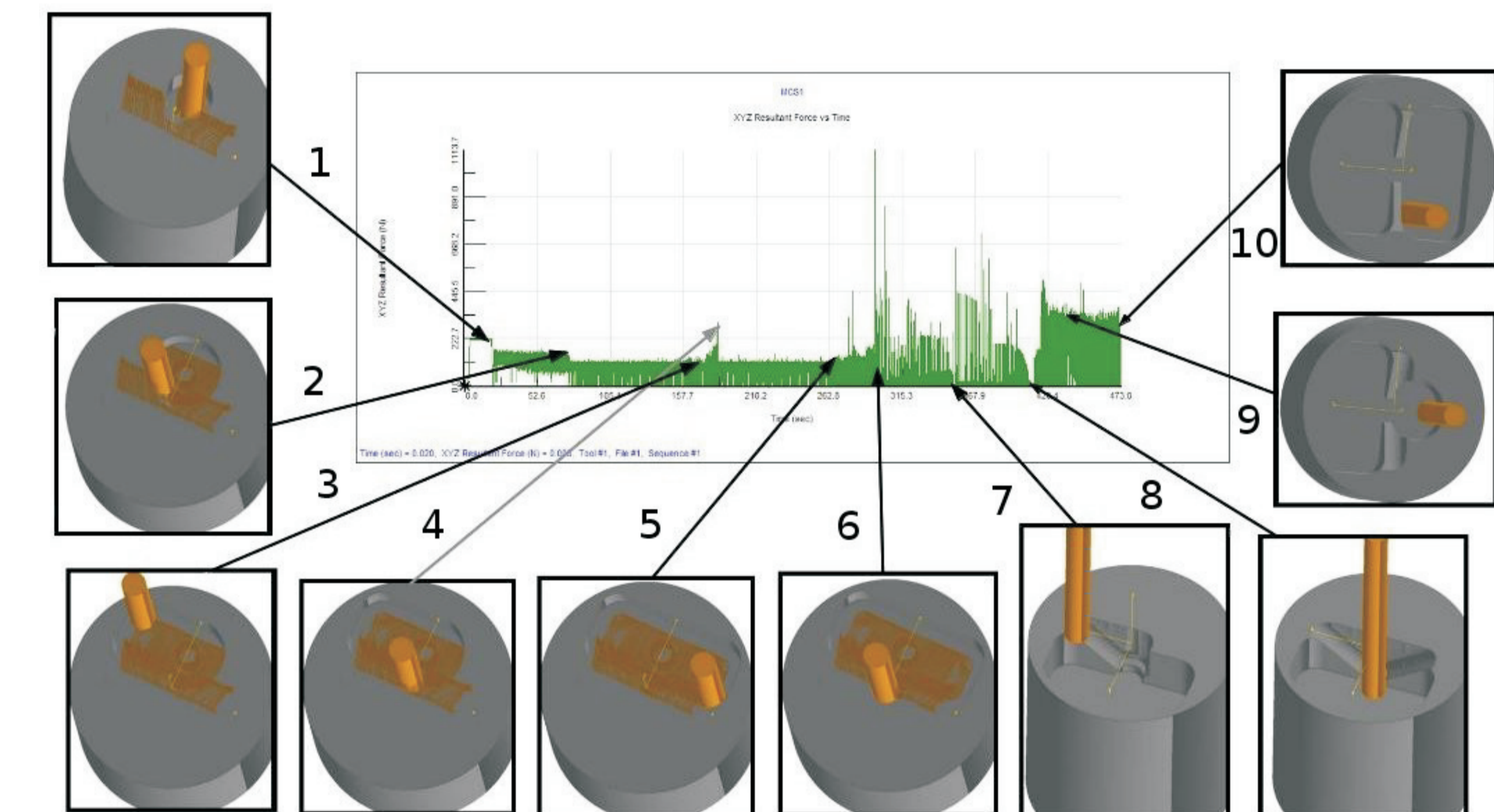
Tabela 1. Porównanie właściwości mechanicznych.
Table 1. Mechanical properties.

Średnica, mm Diameter	Diagona robozna, mm Blade length	Długość całkowita, mm Length	Maksymalna głębokość skrawania, mm Max depth cut	Promień zakręglenia roboza, mm Radius corner	Liczba ostrzy Number of teeth	Kąt pochylenia ostrzy, ° Helix angle	Kąt warunkowy, ° Rake angle
6	18	60	12	0,3	4	42	6

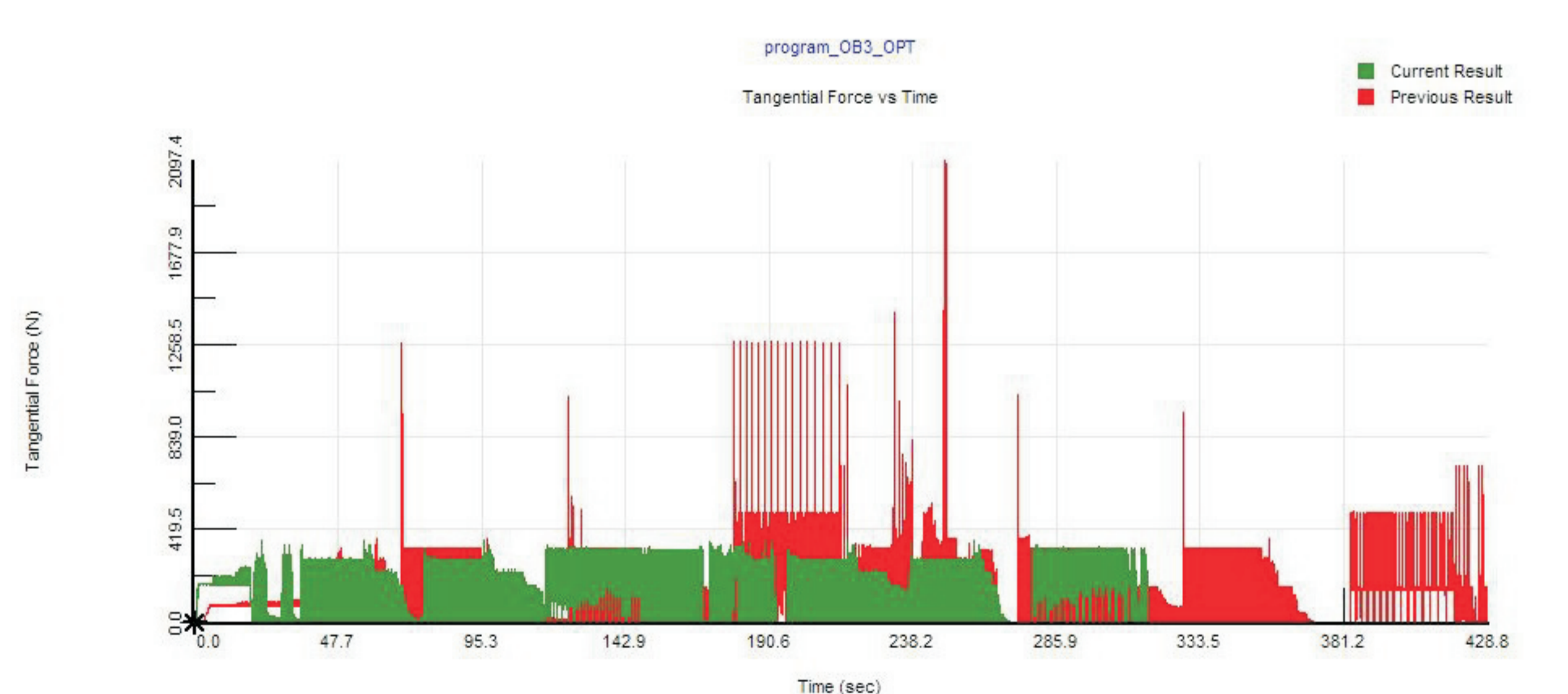
Rys. 1. Narzędzie testowe - frez palcowy JHP770060E2R030024A-SIRA
Fig. 1. Tool milling tested JHP770060E2R030024A-SIRA.



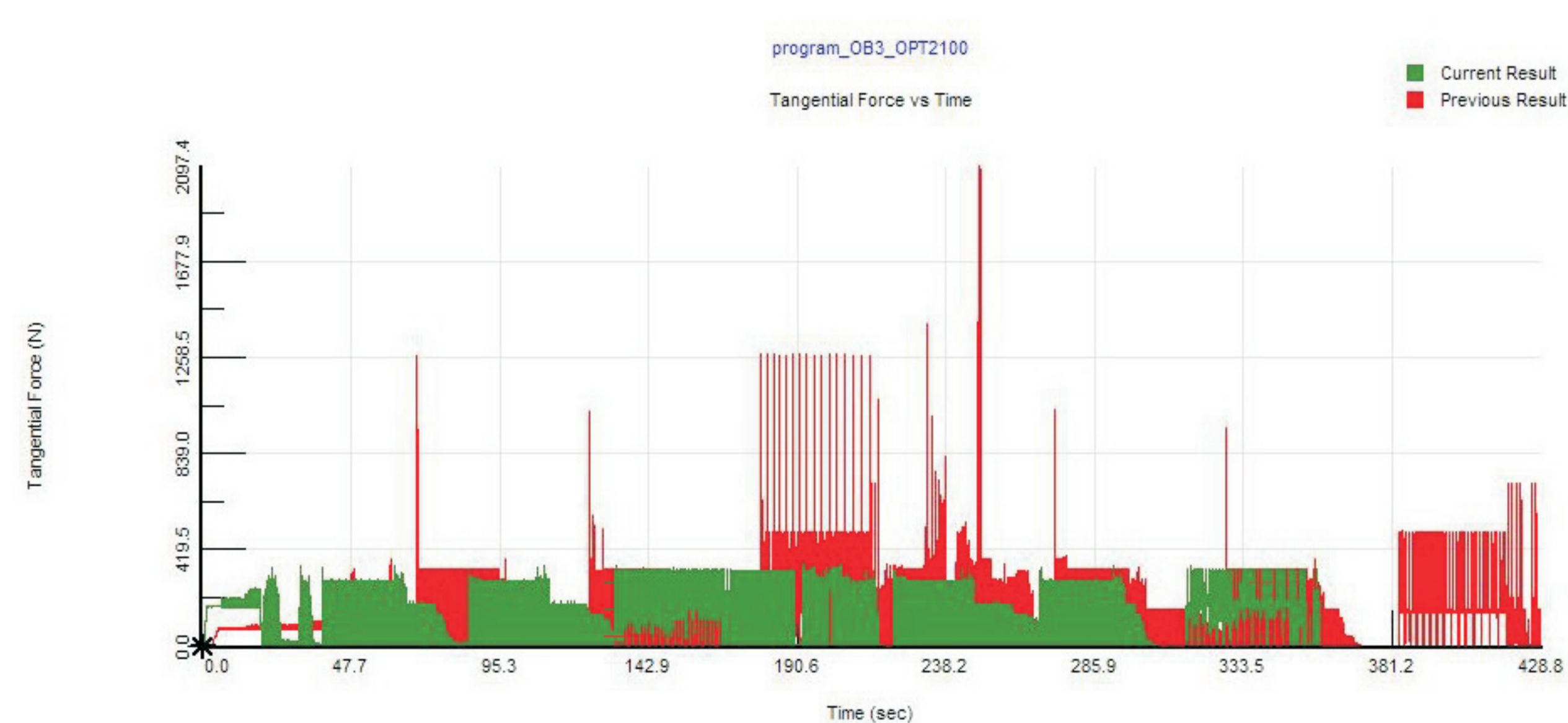
Rys. 2. Czas obróbki ze względu na zastosowaną strategię optymalizacji.
Fig. 2. The processing time due to the applied optimization strategy.



Rys. 4. Przebieg wartości skrawania dla kolejnych etapów obróbki
Fig. 4. Mileage of cutting forces for subsequent processing steps

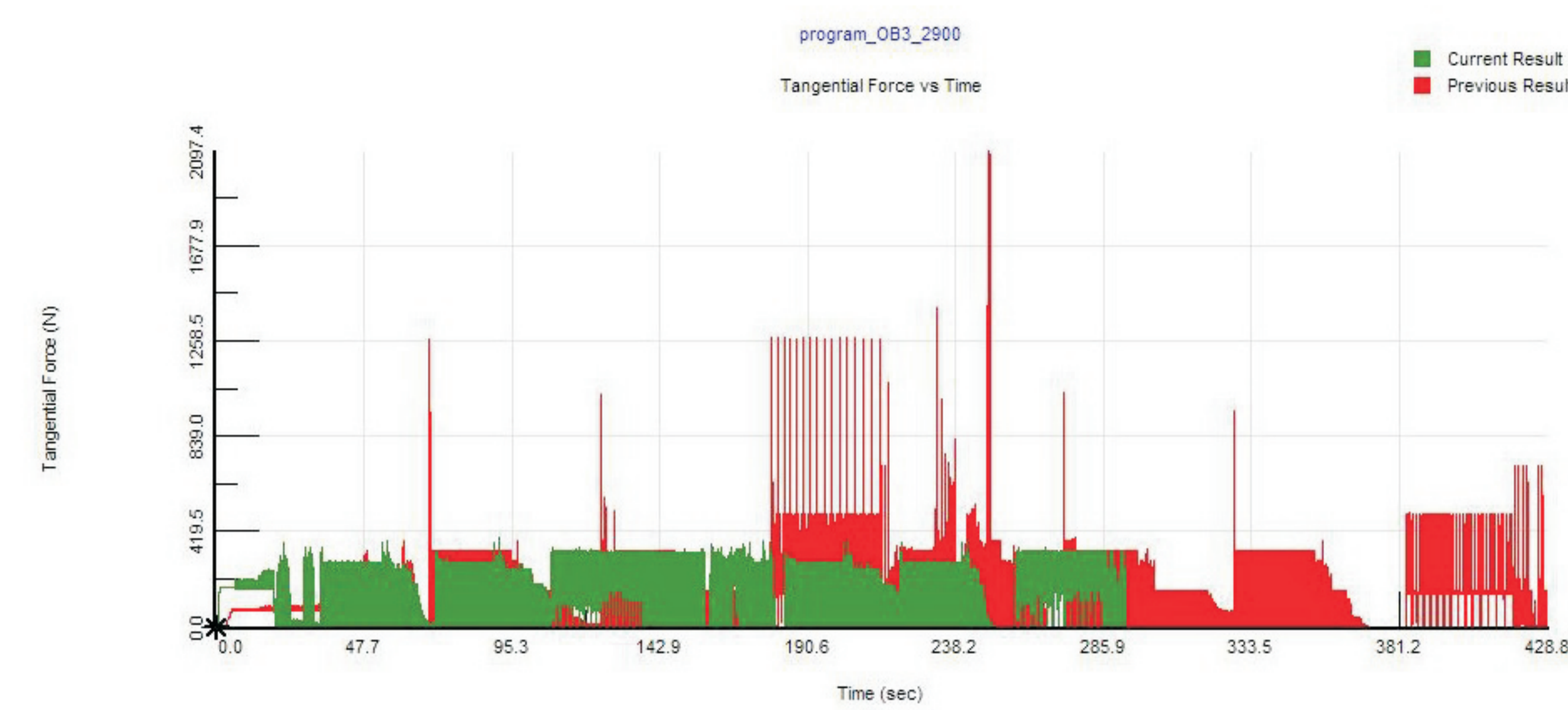


Rys. 5. Porównanie wartości siły stycznej przed i po procesie optymalizacji. Obróbka po optymalizacji z ograniczeniem posuwu do 2550 mm/min.
Fig. 5. Comparison of the tangential force before and after the optimization process. Treatment after optimization of feed restriction to 2550 mm/min.

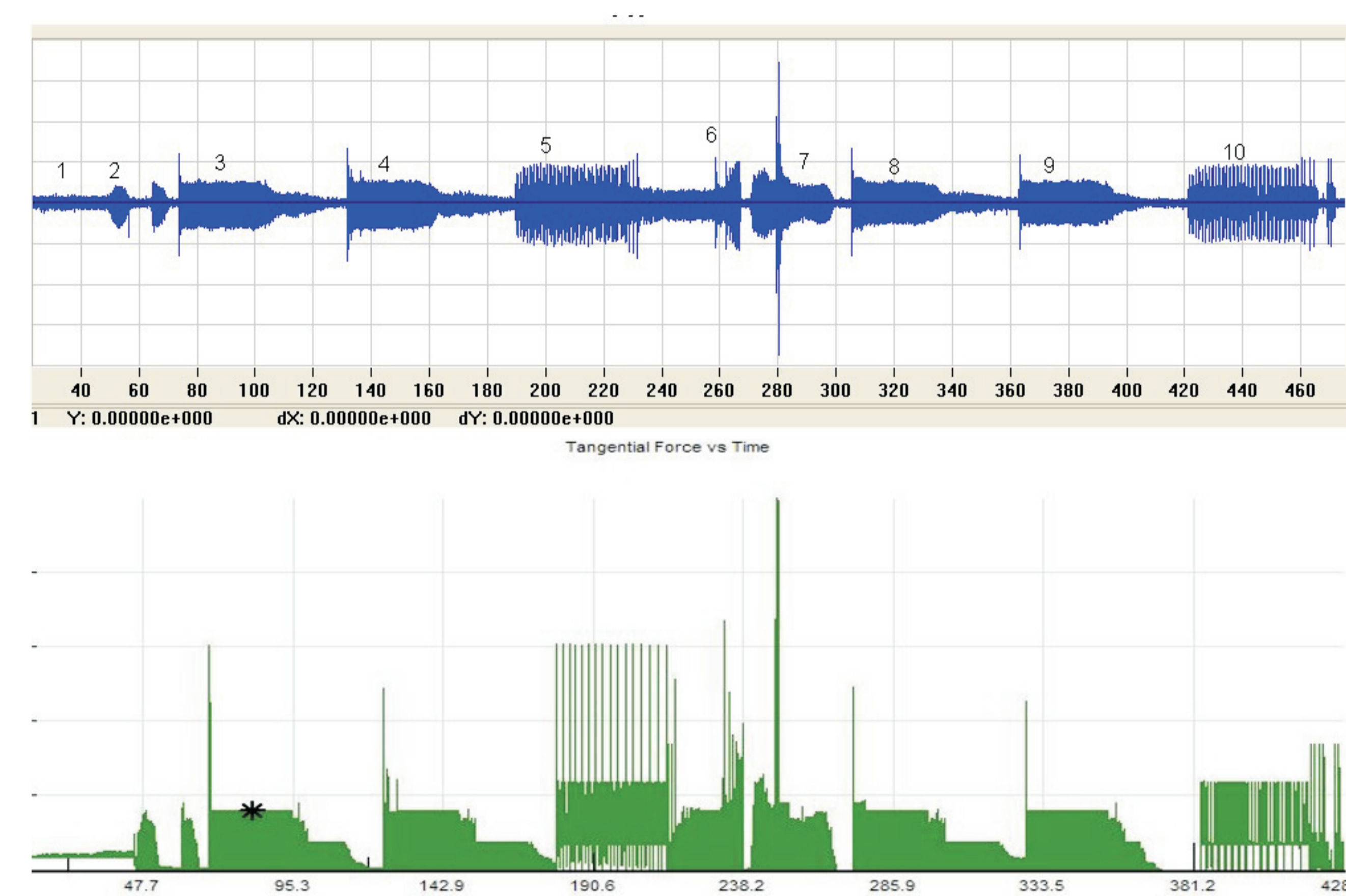


Rys. 6. Porównanie wartości siły stycznej przed i po procesie optymalizacji. Obróbka po optymalizacji z ograniczeniem posuwu do 2100 mm/min.
Fig. 6. Comparison of the tangential force before and after the optimization process. Treatment after optimization of feed restriction to 2100 mm/min.

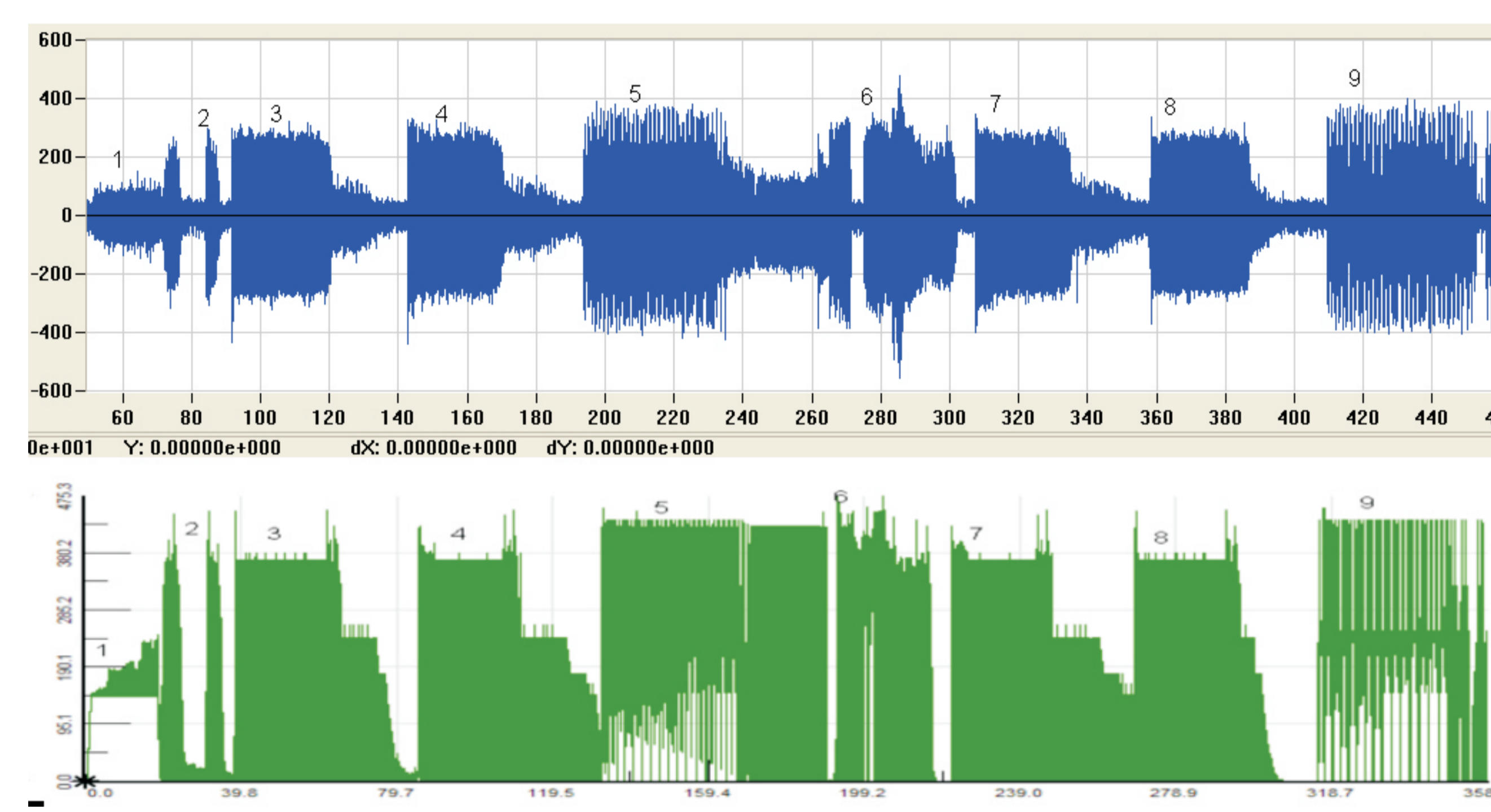
Politechnika Rzeszowska, Politechnika Warszawska



Rys. 8. Porównanie wartości siły stycznej przed i po procesie optymalizacji. Obróbka po optymalizacji z ograniczeniem posuwu do 2900 mm/min.
Fig. 8. Comparison of the tangential force before and after the optimization process. Treatment after optimization of feed restriction to 2900 mm/min.



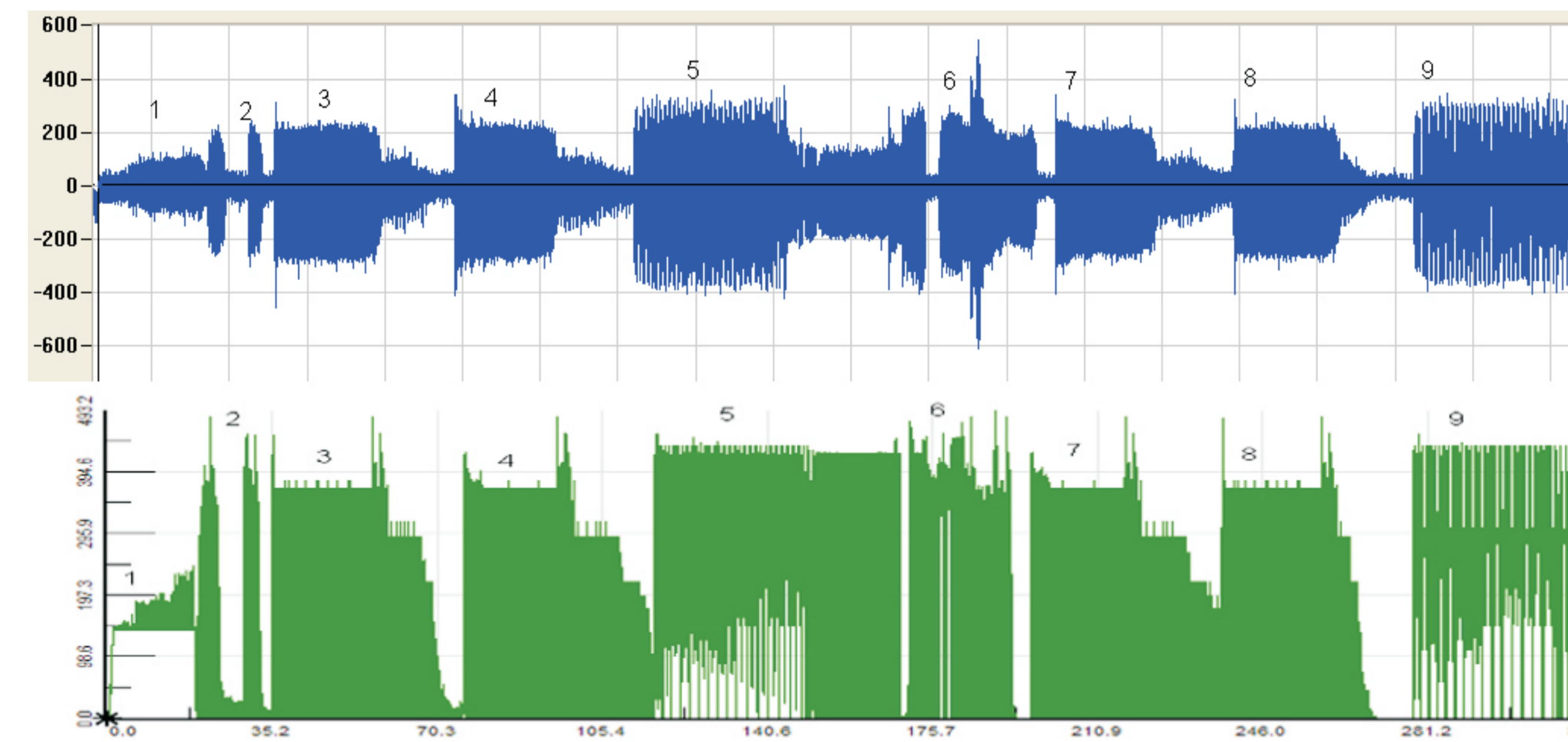
Rys. 9. Porównanie wartości siły skrawania uzyskanej doświadczalnie b) w wyniku symulacji. Obróbka przed optymalizacją
Fig. 9. Comparison of the resulting cutting forces a) experimental b) as a result of the simulation. Treatment before optimization



Rys. 10. Porównanie wartości siły skrawania a) doświadczalnie b) w wyniku symulacji. Obróbka po optymalizacji z ograniczeniem posuwu do 2100 mm/min.
Fig. 10. Comparison of the cutting forces a) experimental b) as a result of the simulation. Treatment after optimization of feed restriction to 2100 mm/min.

Punkt charakterystyczny	1	2	3	4	5	6	7	8	9
F _{doświadczalne} , N	232,5	421,3	496	507	593,5	570,4	517,7	507,4	495,3
F _{symulacyjne} , N	140	380	360	360	430	450	360	360	440
Błąd bezwzględny, N	-92,5	-41,3	-136	-147	-163,5	-120,4	-157,7	-147,4	-55,3
Błąd procentowy, %	-39,8	-9,8	-27	-29	-29	-21	-30,5	-29	-11,2

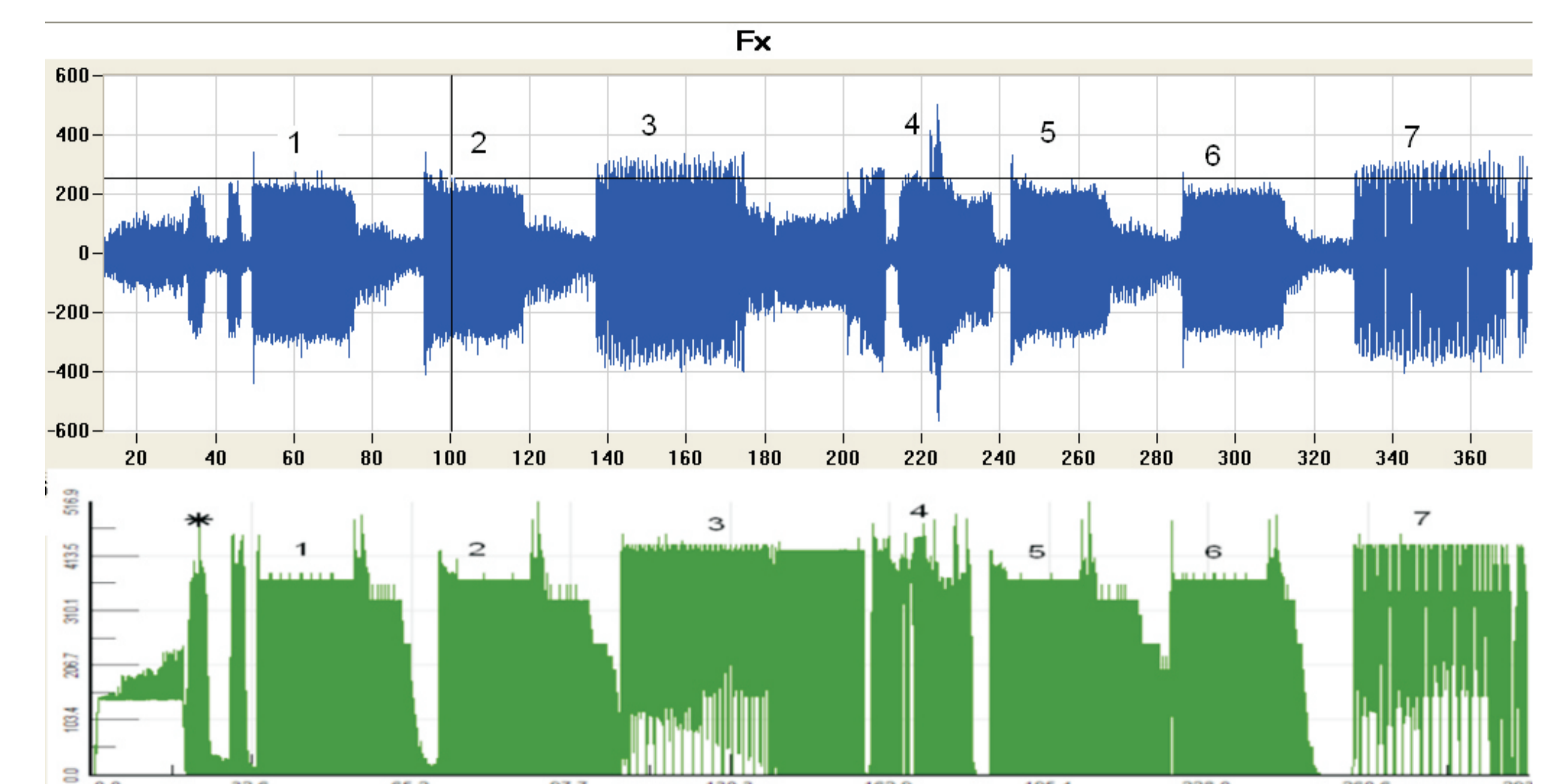
Tabela 1. Porównanie wartości siły skrawania uzyskanej doświadczalnie i w wyniku symulacji dla programu optymalizowanego z ograniczeniem posuwu do 2100 mm/min
Table 1. Comparison of cutting forces obtained experimentally and by simulation for the optimized program with limited movement to 2100mm/min



Rys. 11. Porównanie wartości siły skrawania a) doświadczalnie b) w wyniku symulacji. Obróbka po optymalizacji z ograniczeniem posuwu do 2550 mm/min.
Fig. 11. Comparison of the cutting forces a) experimental b) as a result of the simulation. Treatment after optimization of feed restriction to 2550 mm/min.

Punkt charakterystyczny	1	2	3	4	5	6	7	8	9
F _{doświadczalne} , N	278,7	354,6	442	416,1	503	472,6	379,4	438,2	511,9
F _{symulacyjne} , N	100	395	370	370	440	460	370	370	445
Błąd bezwzględny, N	178,7	40,4	-72	-46,1	-63	-12,6	-9,4	-68,2	-66,9
Błąd procentowy, %	-64	11,4	-16,2	-11	-12,5	-3	-2,5	-15,6	-13

Tabela 2. Porównanie wartości siły skrawania uzyskanej doświadczalnie i w wyniku symulacji dla programu optymalizowanego z ograniczeniem posuwu do 2550 mm/min
Table 2. Comparison of cutting forces obtained experimentally and by simulation for the optimized program with limited movement to 2550mm/min



Rys. 12. Porównanie wartości siły skrawania a) doświadczalnie b) w wyniku symulacji. Obróbka po optymalizacji z ograniczeniem posuwu do 2900 mm/min.
Fig. 12. Comparison of the cutting forces a) experimental b) as a result of the simulation. Treatment after optimization of feed restriction to 2900 mm/min.

Punkt charakterystyczny	1	2	3	4	5	6	7
F _{doświadczalne} , N	390,9	387,2	459,1	468,8	368	356,7	508,9
F _{symulacyjne} , N	360	360	425	450	360	360	460
Błąd bezwzględny, N	-30,9	-27,2	-34,1	-18,8	-8	3,3	-48,9
Błąd procentowy, %	-7,9	-7	-7,4	-4	-2,2	0,9	-9,6

Tabela 3. Porównanie wartości siły skrawania uzyskanej doświadczalnie i w wyniku symulacji dla programu optymalizowanego z ograniczeniem posuwu do 2900 mm/min
Table 3. Comparison of cutting forces obtained experimentally and by simulation for the optimized program with limited movement to 2900mm/min

Wnioski Conclusions

Najlepszą jakość powierzchni uzyskano po obróbce z wartością posuwu $f=2100\text{mm/min}$ (jednak to kryterium nie determinuje wyboru optymalnej strategii, ze względu na obróbkę zgrubną).
Największą wydajnością charakteryzowała się obróbka z zastosowaniem strategii III, w której maksymalny posuw ograniczony został do wartości $f=2900\text{mm/min}$.
Zużycie ostrza narzędzia skrawającego dla każdej strategii było porównywalne.
Nie zaobserwowano istotnego wpływu obróbki skrawaniem na mikrostrukturę warstwy wierzchniej powierzchni obrabianej.

The best surface quality obtained after treatment of the feed value $f = 2100\text{mm/min}$ (however, this criterion does not determine the choice of optimal strategy, due to the roughing).
The highest yield was characterized by the treatment with the third strategy, in which the maximum feed rate is limited to the value of $f = 2900\text{mm/min}$.
Wear of the blade cutting tool for each strategy was comparable.
There was no significant effect on the microstructure machining layer top surface of the workpiece.

Przykłady zastosowania w lotnictwie Examples of application in aviation



Przykłady współpracy z przemysłem lotniczym Collaboration with aviation industry

Tematyka prowadzonych badań związanych z optymalizacją procesu skrawania trudnoobrabialnych stopów stosowanych w technice lotniczej umożliwi znaczne zwiększenie wydajności oraz poprawę stabilności procesu obróbki skrawaniem. Wyniki badań umożliwią ich praktyczne zastosowanie w warunkach przemysłowych m.in. w WSK „PZL-Rzeszów” S.A, PZL Mielec, Ultratech.

Research topics related to the optimization process difficult-to-cut alloys used in aerospace will substantially increase the efficiency and improve the stability of the machining process. The results allow its practical use in industrial environments such as in WSK "PZL-Rzeszów" SA, PZL Mielec, Ultratech.

Wskaźniki realizacji celów projektu Indicators of the project

Prace magisterskie obronione:
Michał Załucki: "Modelowanie procesów obróbki skrawaniem materiałów konstrukcji lotniczych."
Promotor: Dr hab. Inż. Jarosław Sep profesor PRZ

Filarowski Tomasz: "Diagnostyka stanu narzędzi obrotowych w procesie frezowania lotniczych stopów Al z wykorzystaniem wibrometru laserowego." dr inż Robert Babiarz

- ZB 1 **Opracowanie zaawansowanych procesów obróbki HSM trudnoobrabialnych stopów lotniczych** Development of advanced
- ZB 2 **Modelowanie, konstruowanie i kontrolowanie procesu HSM z uwzględnieniem skonfigurowanego układu maszyna-robot**
- ZB 3 **Opracowanie technologii efektywnego projektowania i produkcji przekładni stożkowych z wykorzystaniem systemu CAD/CAM**
- ZB 4 **Opracowanie nowej, prostszej i tańszej przekładni zębatej w miejsce skomplikowanych i drogich przekładni planetarnych**
- ZB 5 **Nowoczesna obróbka mechaniczna stopów magnezu i aluminium** Modern mechanical working of magnesium and aluminium
- ZB 6 **Materiały kompozytowe o zwiększonej wytrzymałości i odporności termicznej z wykorzystaniem żywic polimerowych**
- ZB 7 **Plastyczne kształtowanie stopów magnezu (kucie precyzyjne, tłoczenie, wyciskanie, itd.)** Plastic forming of magnesium
- ZB 8 **Plastyczne kształtowanie lotniczych stopów Al (w tym Al - Li) oraz Ti** Plastic forming of aeronautical Al (including Al-Li) and Ti
- ZB 9 **Metaliczne materiały kompozytowe w aplikacjach lotniczych (w tym materiały typu Glare)** Composite metallic materials
- ZB 10 **Nowoczesne pokrycia barierowe na krytyczne części silnika** Modern barrier covers on critical engine parts
- ZB 11 **Materiały lotnicze o zaawansowanej strukturze (monokryształ, krystalizacja kierunkowa)** Aeronautical materials of advanced structure
- ZB 12 **Odlewanie precyzyjne stopów Ni na krytyczne części silników lotniczych** Precision casting of Ni alloys on critical parts
- ZB 13 **Opracowanie technologii przetapiania stopów niklu z zastosowaniem modyfikowania nanocząstkami proszków** Development of technology for melting of Ni alloys with powder modification
- ZB 14 **Materiały inteligentne - oraz bazujące na nich systemy zespolone (ang. smart embedded systems) do zastosowań lotniczych**
- ZB 15 **Niekonwencjonalne technologie łączenia elementów konstrukcji lotniczych** Unconventional technologies of joining elements