



# LOCTITE 402

**Ultraskuteczny  
klej błyskawiczny.**

Áine Mooney  
Martin Smyth  
Tammy Gernon  
Michael Jordan  
Oliver Droste  
Christine Marotta



Konstruktorzy i technolodzy nieustannie poszukują innowacyjnych rozwiązań umożliwiających tworzenie nowych, lepszych konstrukcji i usprawnienie procesów produkcyjnych. W przypadku wielu gałęzi przemysłu spotykamy się z trendem stosowania coraz mniejszych i wydajniejszych urządzeń. Niemniej jednak, wykorzystywanie mniejszych urządzeń wymaga stosowania innowacyjnych materiałów, procesów montażowych oraz jeszcze wyższej precyzji pozwalającej na wdrażaniu większej liczby funkcji na mniejszej powierzchni, a także zachowanie, a najlepiej zwiększenie, funkcjonalności urządzeń końcowych. Tak konstruowane urządzenia są wyzwaniem z perspektywy montażu jak również ze względu na nowe wymagania jak choćby generowanie i odprowadzanie ciepła.

Obecnie inżynierowie dysponują wieloma metodami montażowymi, począwszy od rozwiązań mechanicznych, takich jak elementy złączne, po taśmy, spawanie i kleje. Każda metoda montażu wiąże się z określonymi korzyściami i wyzwaniami. W Tabeli 1 przedstawiliśmy przegląd poszczególnych metod montażu wraz z najważniejszymi korzyściami i wyzwaniami.

**TABELA 1**  
Zróżnicowane metody montażu – korzyści i wyzwania.

METODA MONTAŻU	KLUCZOWE KORZYŚCI	KLUCZOWE WYZWANIA
<b>Mocowanie mechaniczne</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Wytrzymałość</li> <li>Opłacalność</li> <li>Brak utwardzania</li> <li>Łączenie zróżnicowanych materiałów</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Utrzymywanie zapasów części</li> <li>Trudne do zautomatyzowania</li> <li>Brak szczelności</li> <li>Naprężenia skoncentrowane wokół elementu złączonego</li> </ul>
<b>Zgrzewanie ultradźwiękowe</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Łatwa automatyzacja</li> <li>Łatwy proces</li> <li>Wysoka wytrzymałość spoiny</li> <li>Szybkość</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Zaangażowanie kapitału w sprzęt</li> <li>Konserwacja systemu</li> <li>Różne materiały</li> <li>Materiały trudne do sklejenia</li> <li>Wypełnianie szczelin</li> </ul>
<b>Taśma</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Niski koszt</li> <li>Natychmiastowe ustalanie</li> <li>Łączenie różnych materiałów</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Trudne do zautomatyzowania</li> <li>Precyzyjna aplikacja</li> <li>Materiały trudne do sklejenia</li> </ul>
<b>Kleje</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Łączenie różnych materiałów</li> <li>Równomierny rozkład naprężeń</li> <li>Wypełnienie dużych szczelin</li> <li>Jednoczesne uszczelnienie</li> <li>Łatwa automatyzacja</li> <li>Łączenie materiałów trudnych do sklejenia</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Wymaga dozowania/aplikacji</li> <li>Wymaga utwardzenia (sprzęt)</li> <li>Wybór rozwiązań wykazujących najmniejszą odporność na temperatury</li> </ul>

W procesach montażu z użyciem technologii klejenia stosuje się różne rodzaje klejów w tym np. epoksydy, kleje termotopliwe, światło-utwardzalne, dwuskładnikowe akryle, cyjanoakrylany (kleje błyskawiczne). W porównaniu z innymi metodami montażu kleje cyjanoakrylowe oferują wiele korzyści, obejmujących m.in.:

- Szybkie ustalanie
- Utwardzanie w temperaturze pokojowej
- Kleje jednoskładnikowe
- Wysoka wytrzymałość złącza na szerokiej gamie tworzyw sztucznych, metali i elastomerów
- Wysoka wytrzymałość złącza na materiałach trudnych do sklejenia (np. polietylen, polipropylen)
- Łatwe/precyzyjne dozowanie

W przypadku klejów błyskawicznych mamy do czynienia z kilkoma wyzwaniami, związanymi głównie z termoplastycznością. Ich typowa maksymalna temperatura robocza wynosi 82°C / 180°F; maksymalne wypełnienie szczeliny w wariancie o wysokiej lepkości wynosi 2,5 mm / 0,10 cala. Dodatkowo mamy również do czynienia z nieodłączoną kruchością oraz bardzo ograniczoną trwałością w środowiskach mokrych.

Cyjanoakrylany, od czasu wprowadzenia ich na rynek ponad 50 lat temu, doczekały się znaczącego postępu w zakresie receptur, dzięki czemu powstały warianty charakteryzujące się większą wytrzymałością i elastycznością, a także odpornością na temperatury (do 121°C / 250°F) oraz niską emisją zapachu. Nasza najnowsza innowacja łączy w optymalny sposób właściwości najlepszych klejów błyskawicznych w jednym, całkowicie nowym rozwiązaniu.

## PRZEDSTAWIAMY LOCTITE 402

LOCTITE 402 to najnowszy innowacyjny produkt firmy Henkel, w którym zastosowano opatentowaną technologię, uzyskując parametry wykraczające poza granice możliwości standardowych cyjanoakrylanów etylu. Jest to ultraskuteczny klej błyskawiczny, zapewniający zarówno niezwykle szybkie ustalanie, jak i wysoką wytrzymałość połączone z najlepszymi w swojej klasie parametrami pracy wysokich temperaturach i zwiększoną odpornością na warunki środowiskowe.

### Szybkie ustalanie i wysoka wytrzymałość

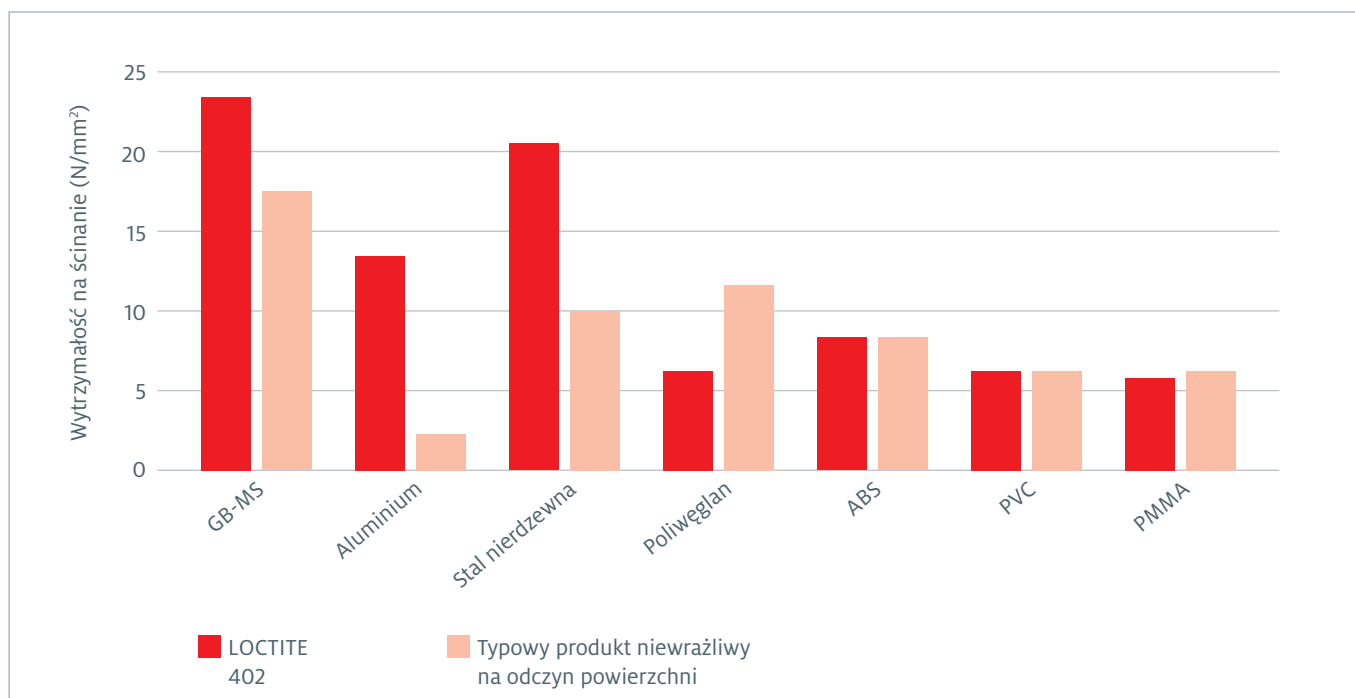
LOCTITE 402, w porównaniu z typowymi klejami niewrażliwymi na odczyn powierzchni (przedstawionymi w Tabeli 2), charakteryzuje się szybkim ustalaniem na szerokiej gamie substratów obejmujących metale, tworzywa sztuczne, gumy i materiały porowate, takie jak papier czy drewno.

LOCTITE 402 zapewnia wysoką wytrzymałość wiązania w przypadku szerokiej gamy metali oraz tworzyw sztucznych (patrz Rys. 1). W porównaniu z typowymi klejami niewrażliwymi na odczyn doskonale współpracuje z aluminium i stalą nierdzewną. W przypadku wszystkich testowanych tworzyw sztucznych, LOCTITE 402 wykazał się również doskonałą wytrzymałością na ścinanie.

**TABELA 2**

Czas ustalania LOCTITE 402 oraz typowego kleju niewrażliwego na rodzaj powierzchni w odniesieniu do różnych podłoży.

MATERIAŁ	LOCTITE 402	TYPOWY PRODUKT NIEWRAŻLIWY NA ODCZYN POWIERZCHNI
Stal miękka	< 5 sek.	< 5 sek.
Aluminium	< 5 sek.	< 5 sek.
Stal nierdzewna	30 do 45 sek.	20 do 30 sek.
Poliwęglan	< 5 sek.	< 5 sek.
ABS	< 5 sek.	< 5 sek.
PCW	10 do 20 sek.	5 do 10 sek.
Papier	5 do 20 sek.	< 5 sek.
Drewno (dąb)	30 do 45 sek.	30 do 45 sek.
Skóra	30 do 45 sek.	10 do 20 sek.
Guma EPDM	< 5 sek.	< 5 sek.



**Rysunek 1**

Wytrzymałość na ścinanie produktu LOCTITE 402 oraz typowego niewrażliwego na odczyn powierzchni na metalach i tworzywach sztucznych po siedmiu dniach utwardzania w temperaturze pokojowej.

### Najlepsza w swojej klasie parametry pracy w wysokich temperaturach

Bezpieczna wartość graniczna temperatury roboczej dla klejów cyjanoakrylowych wynosi zwykle 82°C. Do tej pory niewielka odporność termiczna stanowiła czynnik ograniczający stosowanie klejów błyskawicznych na bazie etylu w zastosowaniach, w których spoina klejowa była przez dłuższy czas narażona na działanie wysokich temperatur. Przyczyną wspomnianej wyżej słabej odporności termicznej była kombinacja określonych czynników, obejmująca m. in. zmęczenie utwardzonego polimeru w temperaturach bliskich jego własnej temperaturze zeszklenia ( $T_g$ ) oraz degradacja właściwości mechanicznych, takich jak wytrzymałość na ścinanie, spowodowana depolimeryzacją polimeru liniowego. Obszerny przegląd tego zagadnienia został opublikowany w roku 2017.

Jednym z rozwiązań pozwalających uporać się z tego rodzaju słabą odpornością termiczną jest wykorzystanie monomeru cyjanoakrylowego mającego zdolność tworzenia usieciowanej struktury polimerowej, takiej jak 2-cyjanoakrylan allilu. Po podgrzaniu do temperatury około 150°C lub wyższej, następuje usieciowanie liniowego polimeru cyjanoakrylanu allilu poprzez polimeryzację rodnikową, co pozwala uzyskać polimer odporny na działanie temperatury. Niemniej jednak, jeśli nie dojdzie do usieciowania polimeru allilowego, kleje błyskawiczne na bazie allilu będą wykazywały taką samą, słabą odporność termiczną jak pozostałe polimery cyjanoakrylowe. Dlatego, aby nadać odporność termiczną połączeniom klejowym związanym z wykorzystaniem 2-cyjanoakrylanu allilu, wymagane jest zrealizowanie dodatkowego etapu procesowego obejmującego ekspozycję w podwyższonej temperaturze około 150°C. Ten dodatkowy etap procesowy może znacząco wydłużyć czas i zwiększyć koszty montażu produkcyjnego.

Produkt LOCTITE 402 wykorzystuje nową, opracowaną przez firmę Henkel, opatentowaną technologię, która umożliwiła pokonanie wspomnianych ograniczeń związanych ze skutecznością działania w wysokich temperaturach. LOCTITE 402 zawiera mieszaninę monomerów cyjanoakrylanu etylu i allilu, połączoną z opatentowanym zestawem dodatków. Ta mieszanina monomerów cyjanoakrylanu etylu i allilu umożliwia wykorzystywanie produktu LOCTITE 402 w przypadku zastosowań wysokotemperaturowych, w taki sam sposób, w jaki stosowane są wszystkie pozostałe kleje błyskawiczne, bez konieczności stosowania jakichkolwiek dodatkowych etapów procesowych. Monomer cyjanoakrylanu etylu wspomaga początkowe działanie LOCTITE 402 w podwyższonych temperaturach, do czasu wystąpienia reakcji sieciowania monomeru allilowego. Czas wymagany do wystąpienia reakcji sieciowania będzie uzależniony od temperatury ekspozycji.

Wyróżniamy trzy różne właściwości termiczne, uważane za kluczowe dla ogólnej odporności temperaturowej: (i) wytrzymałość w temperaturze; (ii) starzenie cieplne w wysokiej temperaturze (po starzeniu próbki testowane są w temperaturze pokojowej); oraz (iii) starzenie cieplne/wytrzymałość w wysokiej temperaturze (po starzeniu, próbki testowane są w wysokiej temperaturze). W kolejnych rozdziałach omówimy każdą z tych właściwości, a także pokażemy, w jakich kwestiach LOCTITE 402 przewyższa pozostałe kleje błyskawiczne.

### Wytrzymałość w temperaturze

Wytrzymałość w temperaturze to nic innego, jak wytrzymałość spoiny klejowej mierzona w podwyższonej temperaturze. Polimery cyjanoakrylowe klasyfikowane należą do grupy materiałów termoplastycznych, co oznacza, iż polimery te mięknią po podgrzaniu do temperatury bliskiej ich temperaturze zeszklenia ( $T_g$ ). Wartości  $T_g$  niektórych popularnych estrów cyjanoakrylowych została wyszczególniona w Tabeli 3.

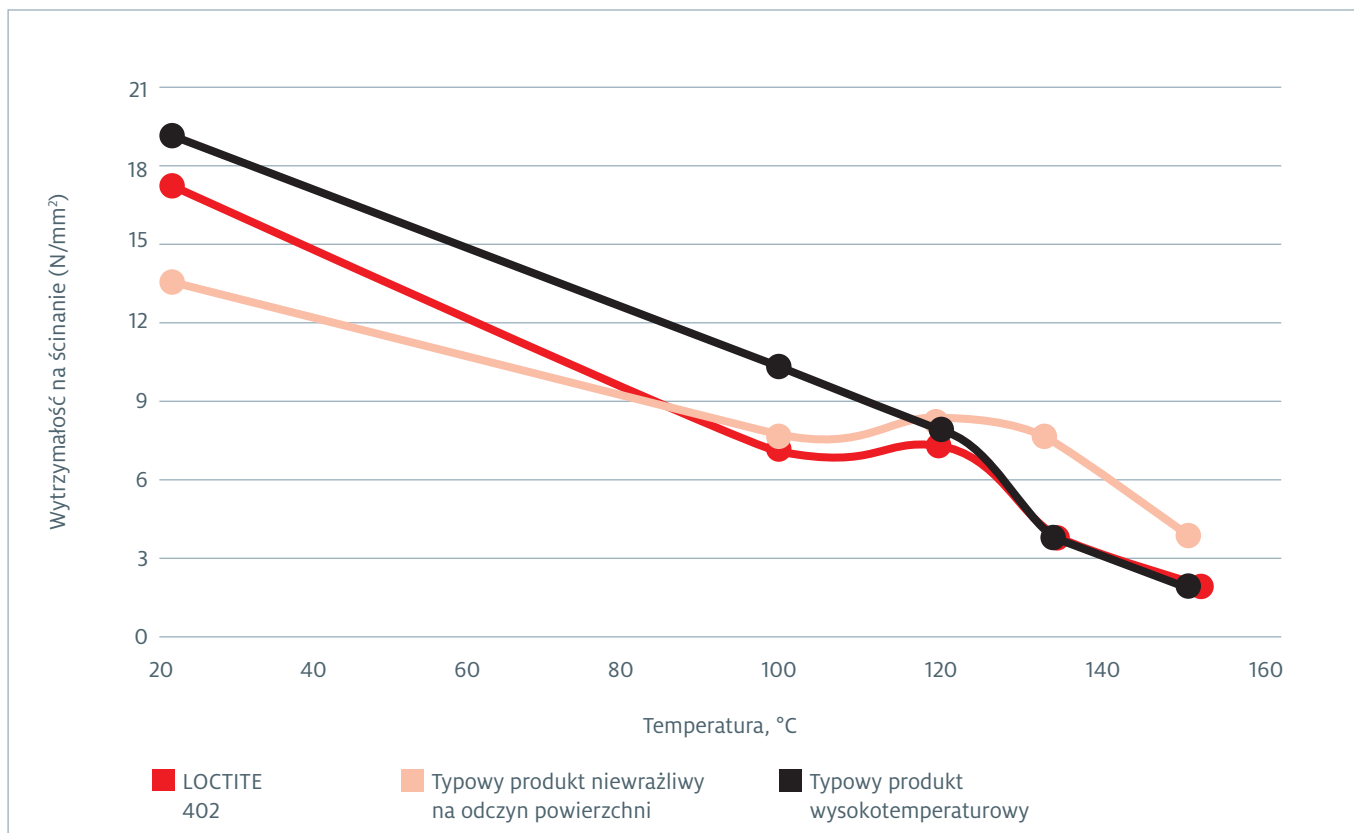
**TABELA 3**

**Wartości temperatury zeszklenia ( $T_g$ ) powszechnie stosowanych estrów cyjanoakrylowych.<sup>1</sup>**

ESTER CYJANOAKRYLOWY	TG (°C)
Metyl	165
Etyl	140 – 150
n-Butyl	90
b-Metoksyetyl	85
Allil	130

Temperatura  $T_g$  polimeru cyjanoakrylanu mieści się w zakresie 140-150°C, dlatego też polimer ten zaczyna mięknąć i upłynniać się w temperaturach zbliżonych lub wyższych od przedstawionego zakresu  $T_g$ . Spoiny znajdujące się w temperaturze zbliżonej lub przekraczającej tę temperaturę, będą charakteryzowały się niską wytrzymałością. W przypadku temperatur przekraczających  $T_g$  będziemy mieli do czynienia z depolimeryzacją, która spowoduje utratę właściwości mechanicznych, takich jak wytrzymałość na ścinanie.

Rysunek 2 przedstawia wytrzymałość na ścinanie w wysokiej temperaturze złącza wykonanego z użyciem produktu LOCTITE 402, w porównaniu do typowego kleju niewrażliwego na odczyn powierzchni oraz typowego kleju błyskawicznego przeznaczonego do stosowania w wysokich temperaturach, na stali nierdzewnej po uprzednim, siedmiodniowym utwardzeniu w temperaturze pokojowej. W każdym z przypadków, w miarę wzrostu temperatury otoczenia, zaobserwowano spadek wytrzymałości na ścinanie złącza klejowego. W przypadku temperatury 135°C wytrzymałość na ścinanie połączeń klejowych wynosiła około 3 N/mm<sup>2</sup>.



### Rysunek 2

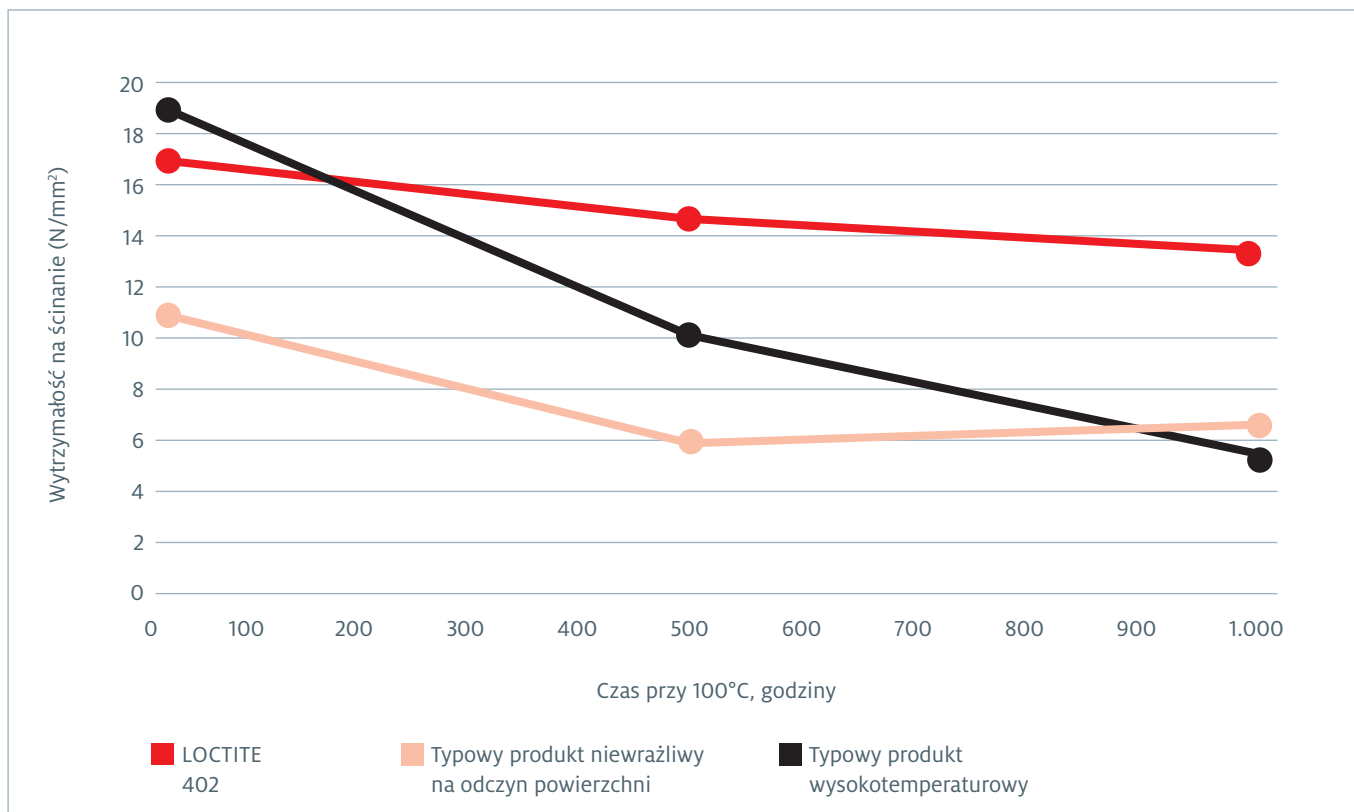
Wytrzymałość temperaturowa produktu LOCTITE 402, typowego produktu niewrażliwego na odczyn powierzchni po utwardzeniu przez siedem dni w temperaturze pokojowej na stali nierdzewnej.

### Starzenie cieplne

Starzenie cieplne odnosi się do zdolności utwardzonego kleju znajdującego się na spoinie do zachowywania swojej początkowej wytrzymałości gdy spoina wystawiona jest na długotrwałe starzenie się w podwyższonej temperaturze, a testowana jest po schłodzeniu do temperatury pokojowej. Wpływ wysokiej temperatury osłabia adhezję na łączeniu polimeru cyjanoakrylanowego z powierzchnią klejonego substratu. Zazwyczaj kleje błyskawiczne wykazują szybką utratę wytrzymałości, gdy złącza klejowe podlegają starzeniu w temperaturach znacznie poniżej ich  $T_g$ .

Starzenie cieplne LOCTITE 402, typowy klej niewrażliwy na odczyn powierzchni oraz typowy klej wysokotemperaturowych została określona po uprzedniej ekspozycji na działanie temperatur od 100°C / 212°F do 150°C / 302°F (patrz Rysunki od 3 do 6). We wszystkich przypadkach zastosowano złącza zakładkowe wykonane ze stali nierdzewnej. Złącza przed starzeniem w wysokiej temperaturze były utwardzane przez siedem dni w temperaturze pokojowej.

Po 1000 godzinach ekspozycji w temperaturze 100°C, produkt LOCTITE 402 zachował 79% swojej wytrzymałości początkowej (patrz Rysunek 3). W tej temperaturze dobrze poradził sobie także typowy klej niewrażliwy na odczyn powierzchni, zachowując 59% swojej początkowej wytrzymałości, podczas gdy typowy klej wysokotemperaturowy zachował jedynie 29% ze swojej wytrzymałości.



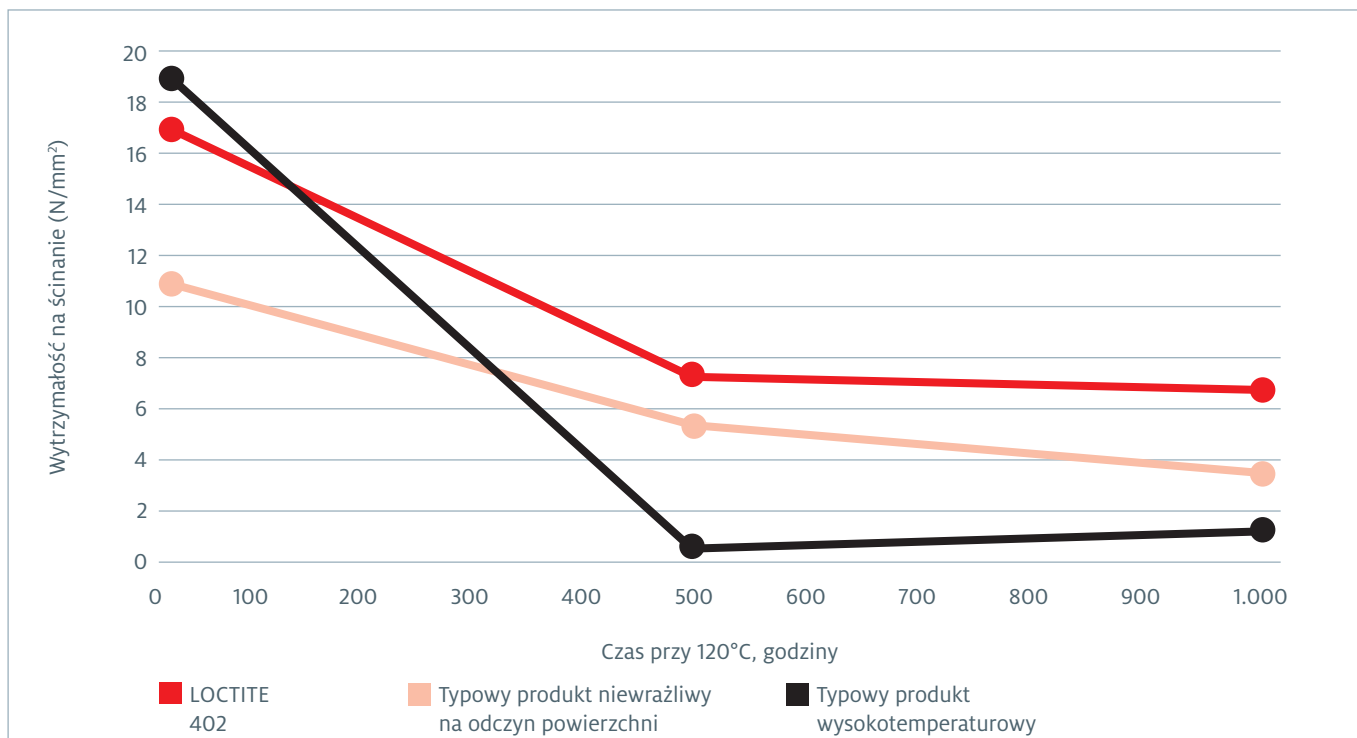
**Rysunek 3**

Starzenie cieplne LOCTITE 402, typowy klej niewrażliwy na odczyn powierzchni i typowy klej wysokotemperaturowy przez 1000 godzin w temperaturze 100°C na stali nierdzewnej.

Rysunek 4 przedstawia starzenie cieplne produktu LOCTITE 402 w obrębie 1000 godzin w temperaturze 120°C, w porównaniu z typowym klejem niewrażliwym na odczyn powierzchni i typowym klejem wysokotemperaturowym. W przypadku typowego kleju wysokotemperaturowego obserwuje się szybką utratę wytrzymałości. Typowy klej niewrażliwy na odczyn powierzchni po upływie 1000 godzin ekspozycji utrzymuje swoją wytrzymałość na ścinanie równą 3,9 N/mm<sup>2</sup>. Z kolei produkt LOCTITE 402 po upływie 1000 godzin ekspozycji utrzymuje swoją wytrzymałość na ścinanie równą 6,5 N/mm<sup>2</sup> (lub 38% wytrzymałości początkowej).

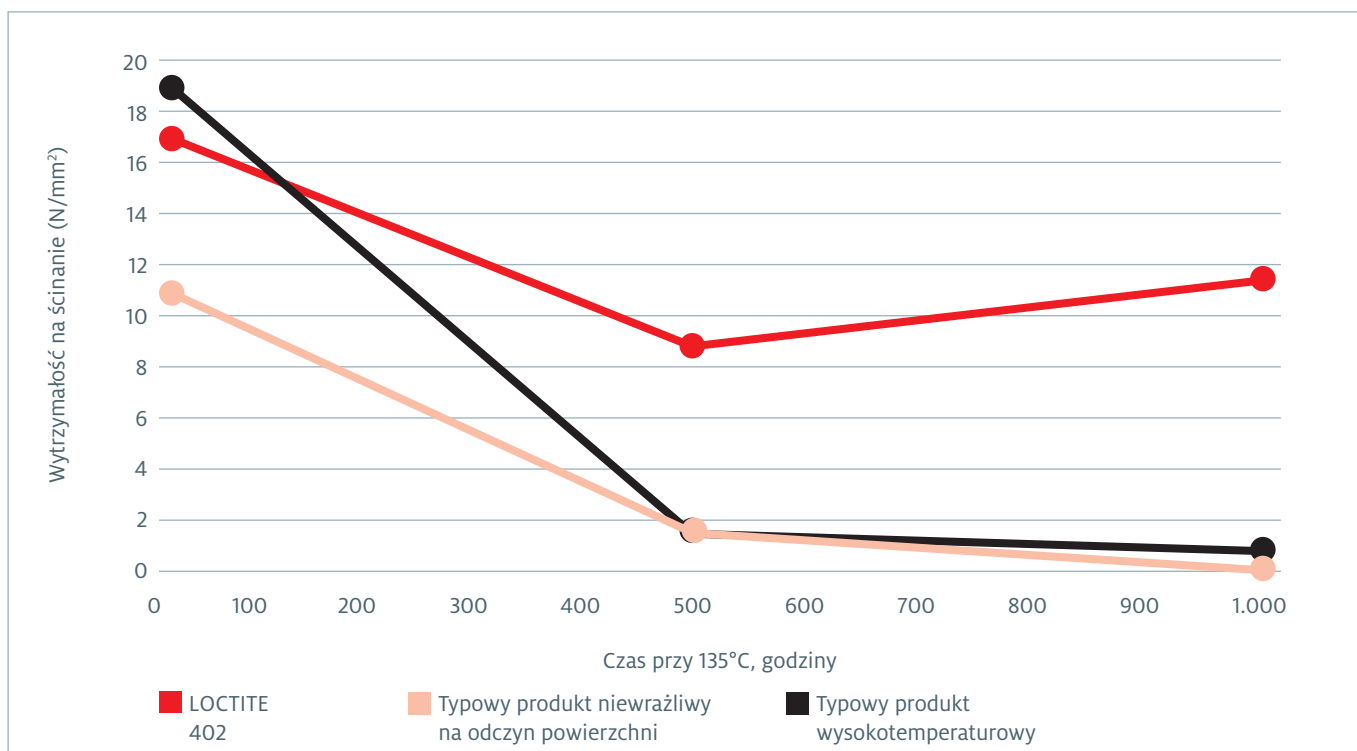
W miarę dalszego wzrostu temperatury do 135°C, odporność produktu LOCTITE 402 na starzenie cieplne staje się bardziej widoczna (patrz Rysunek 5). Po upływie 1000 godzin ekspozycji w temperaturze 135°C, produkt LOCTITE 402 zachowuje odporność na ścinanie na poziomie 11,3 N/mm<sup>2</sup> lub 66% wytrzymałości początkowej. Dla kontrastu, typowe kleje niewrażliwe na odczyn powierzchni oraz typowe kleje wysokotemperaturowe wykazują szybki spadek wytrzymałości w ciągu 500 godzin. Po 1000 godzinach ekspozycji typowe kleje niewrażliwe na odczyn powierzchni i typowe kleje wysokotemperaturowe wykazują zerową wytrzymałość, co wskazuje na degradację polimeru.

Produkt LOCTITE 402 zachowuje swoją odporność na starzenie cieplne przy temperaturze wynoszącej maksymalnie 150°C (patrz Rysunek 6). Po 1000 godzinach ekspozycji produkt LOCTITE 402 zachowuje 49% swojej początkowej wytrzymałości. Natomiast w przypadku typowego kleju wysokotemperaturowego obserwujemy znaczny spadek wytrzymałości w ciągu pierwszych 500 godzin ekspozycji, z zachowaniem jedynie 9% początkowej siły wiązania. Jeszcze szybszy spadek wytrzymałości na ścinanie obserwuje się w przypadku typowego kleju niewrażliwego na odczyn powierzchni, który prezentuje zerową wytrzymałość po upływie 500 godzin ekspozycji w temperaturze 150°C. Powyższe dowodzi szybszej degradacji polimeru wraz ze wzrostem temperatury ekspozycji.



**Rysunek 4**

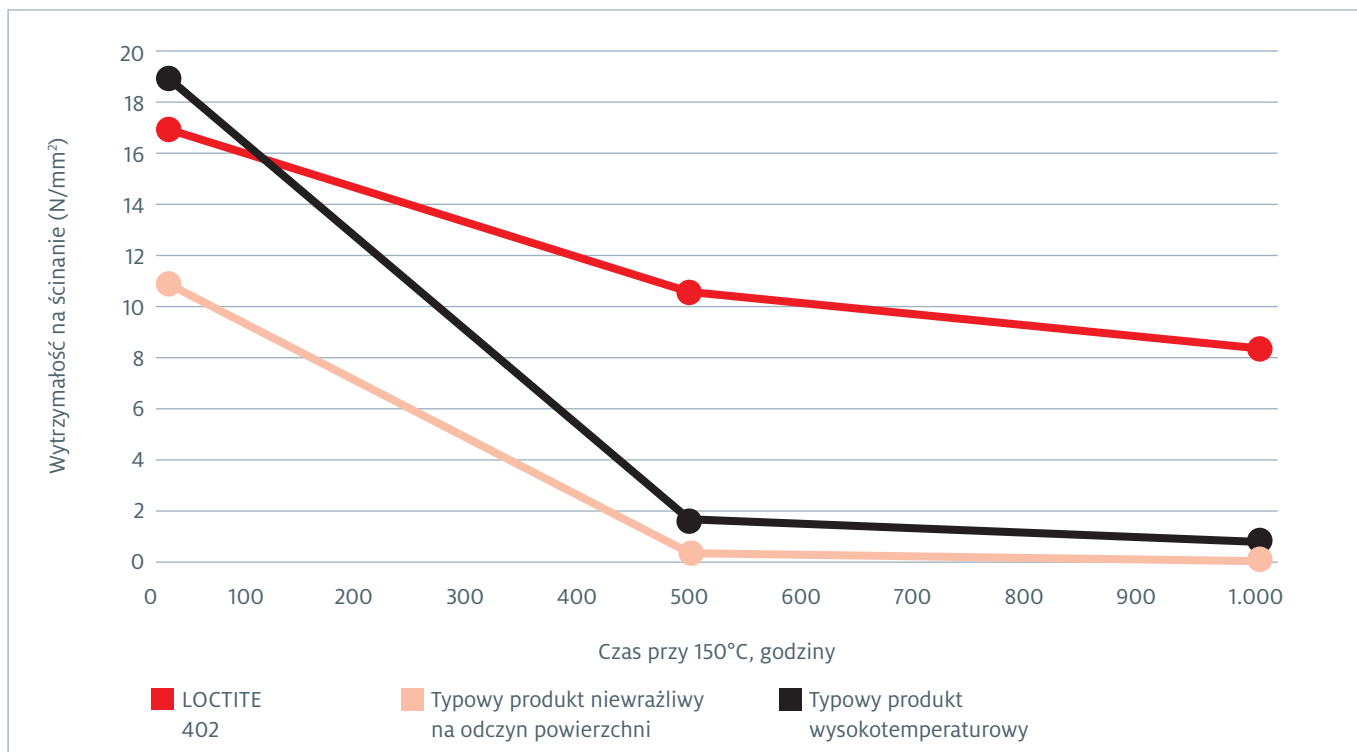
Starzenie ciepłe LOCTITE 402, typowego kleju niewrażliwego na odczyn powierzchni i typowego kleju wysokotemperaturowego przez 1000 godzin w temperaturze 120°C na stali nierdzewnej.



**Rysunek 5**

Starzenie ciepłe LOCTITE 402, typowego kleju niewrażliwego na odczyn powierzchni i typowego kleju wysokotemperaturowego przez 1000 godzin w temperaturze 135°C na stali nierdzewnej.





**Rysunek 6**

Starzenie cieplne LOCTITE 402, typowego kleju niewrażliwego na odczyn powierzchni i typowego kleju wysokotemperaturowego przez 1000 godzin w temperaturze 150°C na stali nierdzewnej.

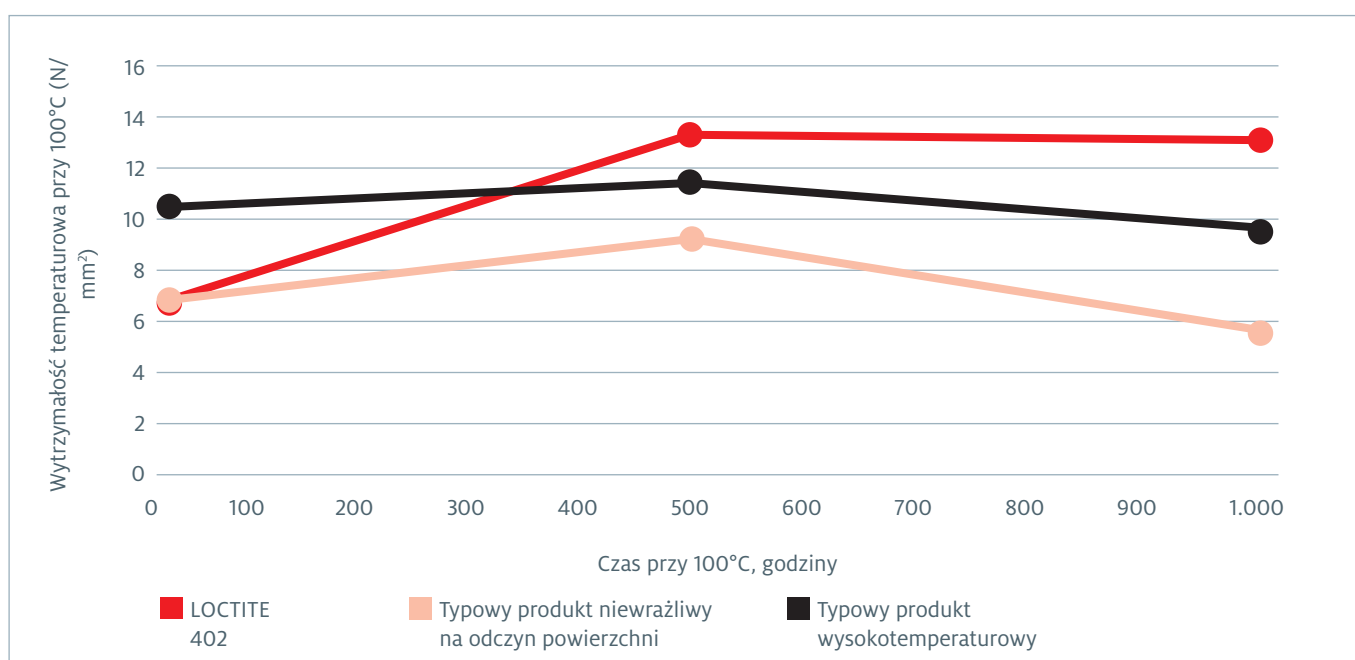
**Starzenie cieplne/wytrzymałość temperaturowa po ekspozycji na wysokie temperatury (test wykonany w tej samej temperaturze co starzenie)**

Cechą wyróżniającą LOCTITE 402 jest jego imponująca zdolność do zachowywania wytrzymałości złącza podczas długich okresów ekspozycji (starzenia) na wysokie temperatury. Dzięki temu LOCTITE 402 jest jedynym klejem błyskawicznym będącym w stanie przez długi czas zachowywać swoje właściwości w wysokich temperaturach.

Wytrzymałość temperaturowa produktu LOCTITE 402, typowego kleju niewrażliwego na odczyn powierzchni oraz typowego kleju wysokotemperaturowego po ekspozycji na działanie wysokich temperatur została określona w sposób następujący:

- Złącza zakładkowe na stali nierdzewnej zostały wykonane z wykorzystaniem produktu LOCTITE 402, typowego kleju niewrażliwych na odczyn powierzchni lub typowego kleju wysokotemperaturowego.
- Po siedmiodniowym utwardzaniu w temperaturze pokojowej złącza zostały wystawione na działanie wysokich temperatur wynoszących:
  - 100°C / 212°F
  - 120°C / 248°F
  - 135°C / 275°F
  - 150°C / 302°F
- Po upływie 500 i 1000 godzin ekspozycji w każdej z temperatur dokonano pomiaru wytrzymałości na ścinanie w tej samej temperaturze.

Rysunek 7 przedstawia wytrzymałość temperaturową w przypadku temperatury wynoszącej 100°C dla produktu LOCTITE 402, typowego kleju niewrażliwych na odczyn powierzchni oraz typowego kleju wysokotemperaturowego po długim czasie ekspozycji w danej temperaturze. W przypadku produktu LOCTITE 402, w ciągu pierwszych 500 godzin ekspozycji, wytrzymałość na wysokie wzrasta z początkowych 7,8 N/mm<sup>2</sup> do 13,4 N/mm<sup>2</sup>. W tej temperaturze wytrzymałość utrzymuje się przez kolejne 500 godzin ekspozycji. Wytrzymałość temperaturowa dla ekspozycji trwającej ponad 1000 godzin w przypadku typowego kleju wysokotemperaturowego, utrzymuje się na stałym poziomie wynoszącym około 10 N/mm<sup>2</sup>. Z kolei w przypadku typowego kleju niewrażliwego na odczyn powierzchni, wytrzymałość temperaturowa po upływie 1000 godzin ekspozycji spada do poziomu 5,4 N/mm<sup>2</sup>.

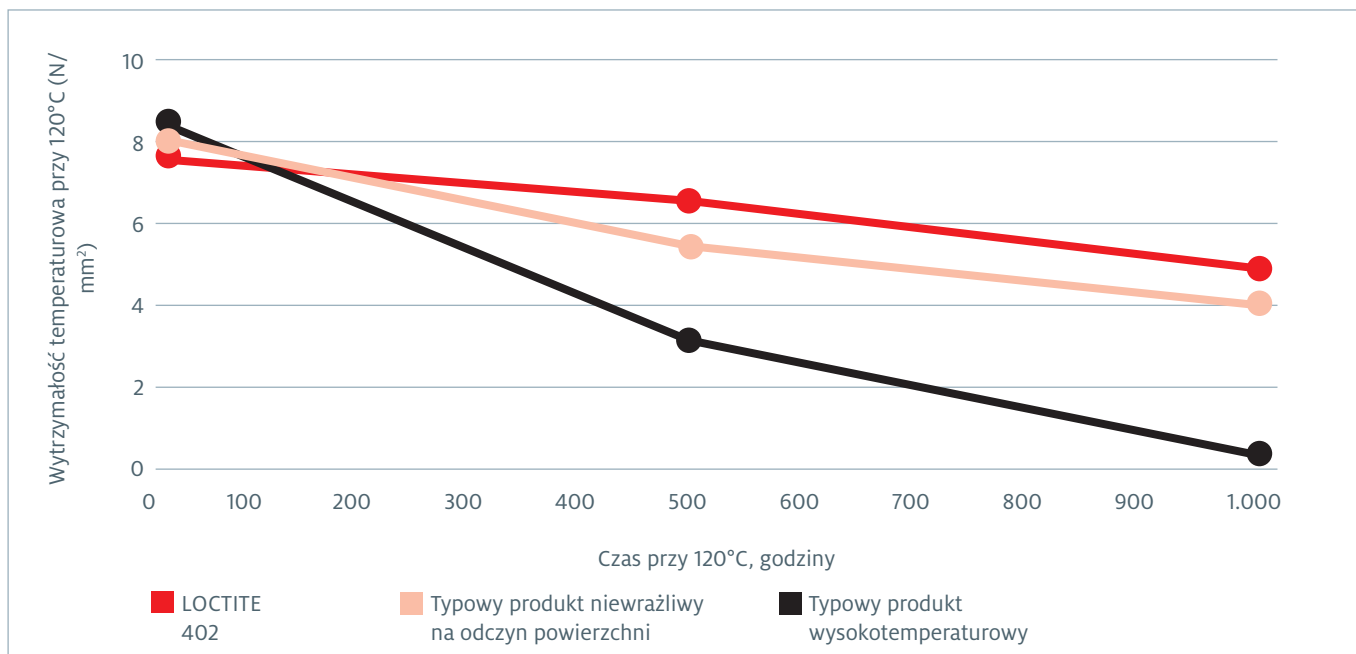


**Rysunek 7**

Wytrzymałość temperaturowa produktu LOCTITE 402, typowego kleju niewrażliwego na rodzaj powierzchni oraz typowego kleju wysokotemperaturowego przy 100°C na stali nierdzewnej dla procesu starzenia trwającego 1000 godzin, przeprowadzanego w temperaturze 100°C.

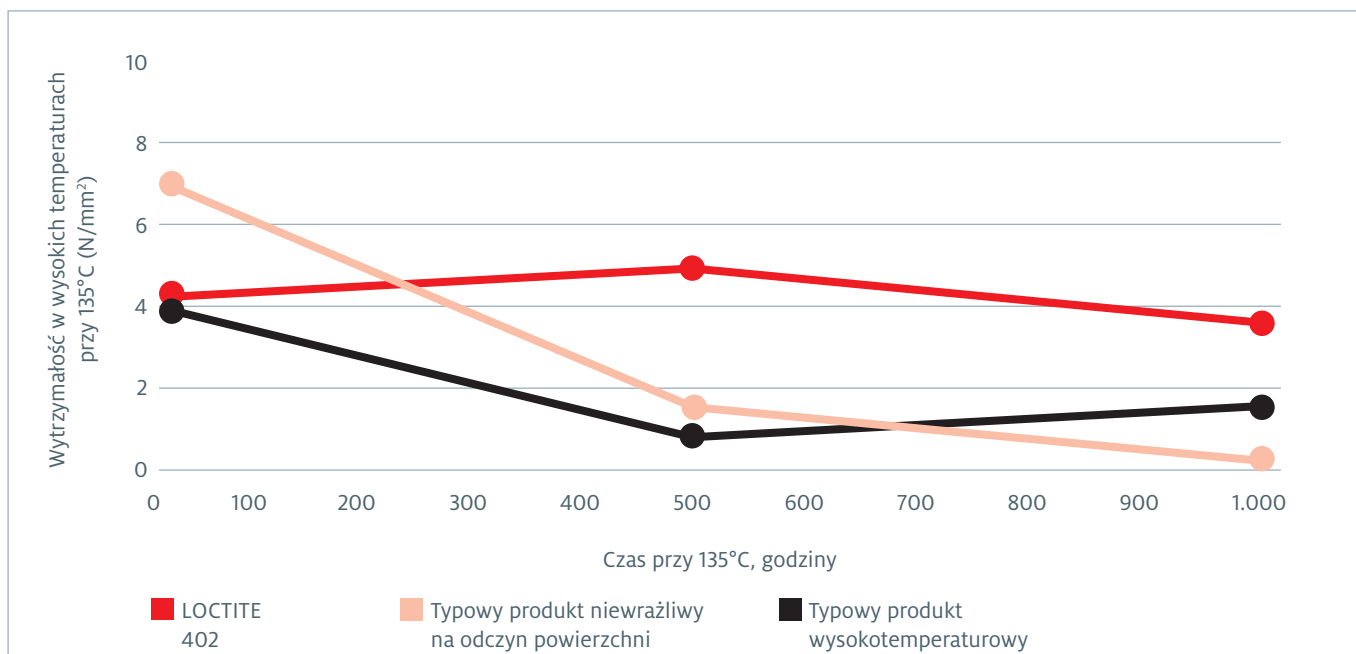
W przypadku produktu LOCTITE 402, 1000-godzinna ekspozycja w temperaturze 120°C powoduje niewielki spadek wytrzymałości do poziomu 4,8 N/mm<sup>2</sup> (patrz Rysunek 8). Podobny spadek wytrzymałości temperaturowej w czasie ekspozycji trwającej 1000 godzin zaobserwowano również w przypadku typowego kleju niewrażliwego na odczyn powierzchni, który oznaczał obniżenie wytrzymałości z 8 N/mm<sup>2</sup> do 3,9 N/mm<sup>2</sup>. Tego typu spadek wytrzymałości temperaturowej w czasie wskazuje na pewną degradację właściwości mechanicznych polimeru liniowego. Niemniej jednak, nawet po upływie 1000 godzin ekspozycji w temperaturze 120°C, oba produkty nadal zachowują odpowiednią wytrzymałość, pozwalającą na zapewnienie należytej parametrów roboczych złącza. W przeciwieństwie do powyższego, wytrzymałość w wysokich temperaturach typowego kleju wysokotemperaturowego w przypadku ekspozycji trwającej 1000 godzin spada do poziomu 0,7 N/mm<sup>2</sup>, co uniemożliwia zapewnienie wystarczających właściwości użytkowych.

Wraz z dalszym wzrostem temperatury ekspozycji coraz bardziej widoczna staje się różnica pomiędzy produktem LOCTITE 402 a pozostałymi dwoma klejami (patrz Rysunek 9). W przypadku typowego kleju niewrażliwego na odczyn powierzchni, wytrzymałość w 135°C maleje wraz z upływem czasu. Po 500 godzinach ekspozycji w temperaturze 135°C, wytrzymałość spadła do poziomu 1,7 N/mm<sup>2</sup>, co uniemożliwia zapewnienie wystarczających parametrów złącza dla większości aplikacji. Po upływie 1000 godzin, wytrzymałość spadła do poziomu zerowego, co jednocześnie wskazuje na całkowitą degradację polimeru. W przypadku typowego kleju wysokotemperaturowego, wytrzymałość spada do 1,4 N/mm<sup>2</sup> w ciągu 500 godzin ekspozycji, po czym pozostaje na tym poziomie przez następne 500 godzin. Ponownie, wraz z upływem czasu wytrzymałość temperaturowa tego kleju nie jest wystarczająca dla zapewnienia wymaganych parametrów złącza. W przeciwieństwie do powyższego, po upływie 1000 godzin ekspozycji w temperaturze 135°C, wytrzymałość temperaturowa produktu LOCTITE 402 utrzymuje się na poziomie 3,8 N/mm<sup>2</sup>. Charakterystyka ta utrzymująca się pomimo upływu czasu wynika z usieciowania polimeru allilowego, zapewniającego doskonałą wytrzymałość temperaturową.



**Rysunek 8**

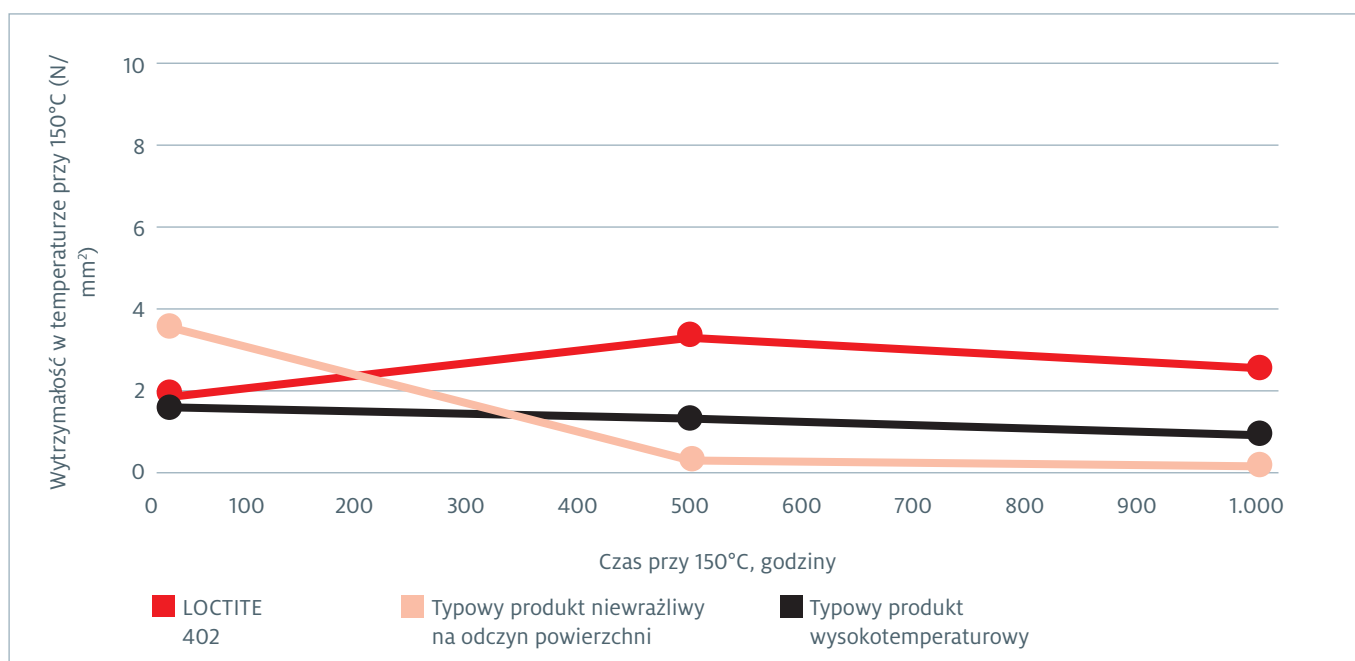
Wytrzymałość temperaturowa produktu LOCTITE 402, typowego kleju niewrażliwego na odczyn powierzchni oraz typowego kleju wysokotemperaturowego przy 120°C na stali nierdzewnej dla procesu starzenia trwającego 1000 godzin, przeprowadzanego w temperaturze 120°C.



**Rysunek 9**

Wytrzymałość temperaturowa produktu LOCTITE 402, typowego kleju niewrażliwego na odczyn powierzchni oraz typowego kleju wysokotemperaturowego przy 120°C na stali nierdzewnej dla procesu starzenia trwającego 1000 godzin, przeprowadzanego w temperaturze 135°C.

W przypadku typowego kleju niewrażliwego na odczyn powierzchni, zwiększenie temperatury ekspozycji do 150°C powoduje przyspieszenie degradacji polimeru (patrz Rysunek 10). Po upływie 500 godzin polimer liniowy ulega niemal całkowitej degradacji. Po upływie 1000 godz. ekspozycji w temperaturze 150°C wytrzymałość typowego kleju wysokotemperaturowego wynosi początkowo 1,7 N/mm<sup>2</sup> po czym spada do poziomu 0,9 N/mm<sup>2</sup>. Co ciekawe, w ciągu pierwszych 500 godzin ekspozycji w temperaturze 150°C wytrzymałość produktu LOCTITE 402 wzrasta do poziomu 3,1 N/mm<sup>2</sup>. Tego rodzaju zwiększona wytrzymałość w wysokiej temperaturze oznacza, iż nastąpiło usieciowanie polimeru allilowego, skutkujące uzyskaniem doskonałych parametrów pracy złącza w wysokich temperaturach. Przez następne 500 godzin ekspozycji w temperaturze 150°C wytrzymałość produktu LOCTITE 402 utrzymuje się na poziomie, który zapewnia odpowiednie parametry do zapewnienia odpowiednich parametrów złącza do większości aplikacji.



**Rysunek 10**

Wytrzymałość temperaturowa produktu LOCTITE 402, typowego kleju niewrażliwego na kleju powierzchni oraz typowego kleju wysokotemperaturowego przy 150°C na stali nierdzewnej dla procesu starzenia trwającego 1000 godzin, przeprowadzanego w temperaturze 150°C.

#### Podsumowanie parametrów pracy w wysokich temperaturach

Podsumowanie właściwości oraz parametrów pracy w wysokich temperaturach produktu LOCTITE 402, typowego kleju niewrażliwych na odczyn powierzchni oraz typowego kleju wysokotemperaturowego zostało przedstawione w Tabeli 4. Biorąc pod uwagę wszystkie trzy rozpatrzone parametry (wytrzymałość w temperaturze, starzenie cieplne oraz wytrzymałość w temperaturze po starzeniu cieplnym), zalecana temperatura robocza w przypadku produktu LOCTITE 402 wynosi od -40°C do +135°C. Powyższe wynika z faktu, iż początkowa wytrzymałość produktu LOCTITE 402 dla temperatury 150°C wynosi 1,8 N/mm<sup>2</sup>, co stanowi wartość nieco niższą niż uznawana za odpowiednią dla zastosowań. Niemniej jednak, jeśli początkowa wytrzymałość na wysokie temperatury w temperaturze 150°C nie stanowi głównego wymogu dla danej aplikacji, produkt LOCTITE 402 może być odpowiedni do zastosowań w temperaturach przekraczających 135°C. W przypadku każdej aplikacji zaleca się uprzednie przeprowadzenie prób oraz testów z zastosowaniem produktu LOCTITE 402.

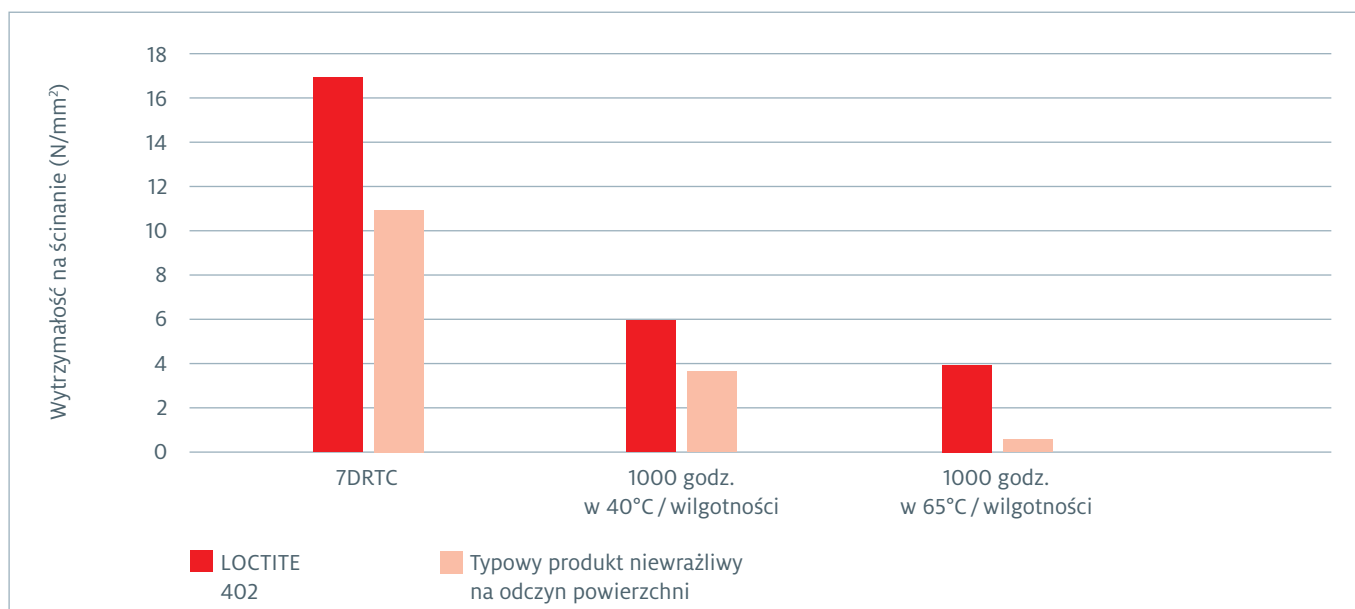
**TABELA 4**

Podsumowanie właściwości oraz parametrów pracy w wysokich temperaturach produktu LOCTITE 402, typowego kleju niewrażliwych na odczyn powierzchni oraz typowego kleju wysokotemperaturowego w zakresie od 100 do 150°C.

PRODUKT	TEST	100°C	120°C	135°C	150°C
LOCTITE 402	Typowy produkt wysokotemperaturowy	Tak	Tak	Tak	Nie
	Starzenie cieplne powyżej 1000 godz.	Tak	Tak	Tak	Tak
	Wytrzymałość w temperaturze powyżej 1000 godz.	Tak	Tak	Tak	Tak
Typowy produkt niewrażliwy na odczyn powierzchni	Początkowa wytrzymałość w temperaturze	Tak	Tak	Tak	Tak
	Starzenie cieplne powyżej 1000 godz.	Tak	Tak	Nie	Nie
	Wytrzymałość w temperaturze powyżej 1000 godz.	Tak	Tak	Nie	Nie
Typowy produkt wysokotemperaturowy	Początkowa wytrzymałość w temperaturze	Tak	Tak	Tak	Nie
	Starzenie cieplne powyżej 1000 godz.	Tak	Nie	Nie	Nie
	Wytrzymałość w temperaturze w powyżej 1000 godz.	Tak	Nie	Nie	Nie

#### Zwiększona trwałość w warunkach środowiskowych

Produkt LOCTITE 402, w porównaniu z typowym klejem niewrażliwym na odczyn powierzchni, oferuje również wyższą odporność na warunki środowiskowych. LOCTITE 402 wykazuje również zwiększoną odporność w warunkach wysokiej temperatury/wilgotności, w szczególności w miarę wzrostu temperatury. Rysunek 11 przedstawia parametry złącza po upływie 1000 godzin starzenia w temperaturze 40°C/98% wilgotności względnej oraz 65°C/95% wilgotności względnej.

**Rysunek 11**

Wytrzymałość na ścinanie (N/mm²) produktu LOCTITE 402 oraz typowego kleju niewrażliwego na odczyn powierzchni na stali nierdzewnej po upływie 1000 godzin ekspozycji na wysoką temperaturę/wilgotność względną.

Produkt LOCTITE 402 w porównaniu z typowym klejem niewrażliwym na odczyn powierzchni wyróżnia się również swoją odpornością na działanie różnych rozpuszczalników/czynników chemicznych, w tym benzyny bezołowiowej, oleju silnikowego, izopropanolu i etanolu (patrz Rysunek 12).



**Rysunek 12**

Wytrzymałość na ścinanie (N/mm<sup>2</sup>) produktu LOCTITE 402 oraz typowego kleju niewrażliwego na odczyn powierzchni na stali nierdzewnej po upływie 1000 godzin starzenia środowiskowego w różnych rozpuszczalnikach/czynnikach chemicznych.

# WNIOSKI

Mimo iż projektanci i producenci dysponują wieloma metodami montażu, kleje błyskawiczne bez wątpienia oferują znaczące korzyści odpowiadające najnowszym wymaganiom rynkowym związanym z konstruowaniem coraz wydajniejszych i precyzyjniejszych urządzeń. Produkt LOCTITE 402 wykazuje znaczącą przewagę nad tradycyjnymi cyjanoakrylanami, zapewniając m. in. stałą skuteczność w przypadku wysokich temperatur oraz zwiększoną wytrzymałość na warunki środowiskowe, przy jednoczesnym zachowaniu kluczowych cech, dla których kleje błyskawiczne są najczęściej wybierane (są jednoskładnikowe, zapewniają szybkie ustalanie oraz możliwość stosowania na zróżnicowanych substratach).

LOCTITE 402 to ultraskuteczny klej błyskawiczny: szybki, niezawodny i łatwy do wykorzystywania w przypadku procesów zautomatyzowanych umożliwiających precyzyjny montaż.

## **Odniesienia**


1. Cyanoacrylates: Towards High Temperature Resistant Instant Adhesives. A Critical Review, Barry Burns, Rev. Adhesion Adhesives, Tom 5, Nr 4, grudzień 2017.

## **Podziękowania**

Autorzy niniejszym pragną podziękować Hilary Bryan za jej wkład w uzyskanie danych przedstawionych w niniejszej dokumentacji.

# AUTORZY


**Áine Mooney**

 [aine.mooney@henkel.com](mailto:aine.mooney@henkel.com)

**Martin Smyth**

 [martin.smyth@henkel.com](mailto:martin.smyth@henkel.com)

**Tammy Gernon**

 [tammy.gernon@henkel.com](mailto:tammy.gernon@henkel.com)


**Michael Jordan**

[michael.jordan@henkel.com](mailto:michael.jordan@henkel.com)

**Oliver Droste**

 [oliver.droste@henkel.com](mailto:oliver.droste@henkel.com)

**Christine Marotta**

 [christine.marotta@henkel.com](mailto:christine.marotta@henkel.com)

Dane przedstawione w niniejszej publikacji mają charakter wyłącznie informacyjny. Aby uzyskać pomoc i zalecenia w odniesieniu do przeznaczenia niniejszych produktów, należy skontaktować się z Lokalną techniczną grupą wsparcia Henkel. O ile nie wskazano inaczej, wszystkie znaki wykorzystane w niniejszej publikacji są znakami towarowymi i/lub zastrzeżonymi znakami towarowymi firmy Henkel i/lub jej podmiotów powiązanych w Stanach Zjednoczonych, Niemczech oraz pozostałych krajach. © Henkel AG & Co. KGaA, 2021