

Adam Marek WITTEK¹, Bogusław ŁAZARZ²

STABILIZATORY SAMOCHODOWE – OBLICZENIA, KONSTRUKCJA I METODY PRODUKCYJNE

Streszczenie. W artykule przedstawiono zarys metod obliczeniowych i produkcyjnych stabilizatorów samochodowych. Nowoczesne rozwiązania technologiczno-konstrukcyjne we współczesnych samochodach znajdują również odzwierciedlenie w konstrukcji i produkcji stabilizatorów. Prawidłowa konstrukcja i dobór parametrów mają wpływ na cechy wytrzymałościowe, ciężar, trwałość oraz niezawodność a także wybór właściwej metody produkcyjnej. Dobór technologii wytwarzania ma zasadniczy wpływ na jakość i trwałość stabilizatorów.

Słowa kluczowe: Stabilizatory samochodowe, konstrukcja, metody produkcyjne.

STABILIZER BARS – CALCULATIONS, CONSTRUCTION AND PRODUCTION METHODS

Summary. The article outlines the calculation and production methods for stabilizer bars. Modern technological and structural solutions in contemporary cars are reflected also in the construction and manufacturing of stabilizer bars. A proper construction and the selection of parameters influence the strength properties, the weight, durability and reliability as well as the selection of an appropriate production method. The selection of the manufacturing process has a fundamental impact on the quality and durability of the stabilizer bars.

Keywords: Stabilizer bars, construction, production methods.

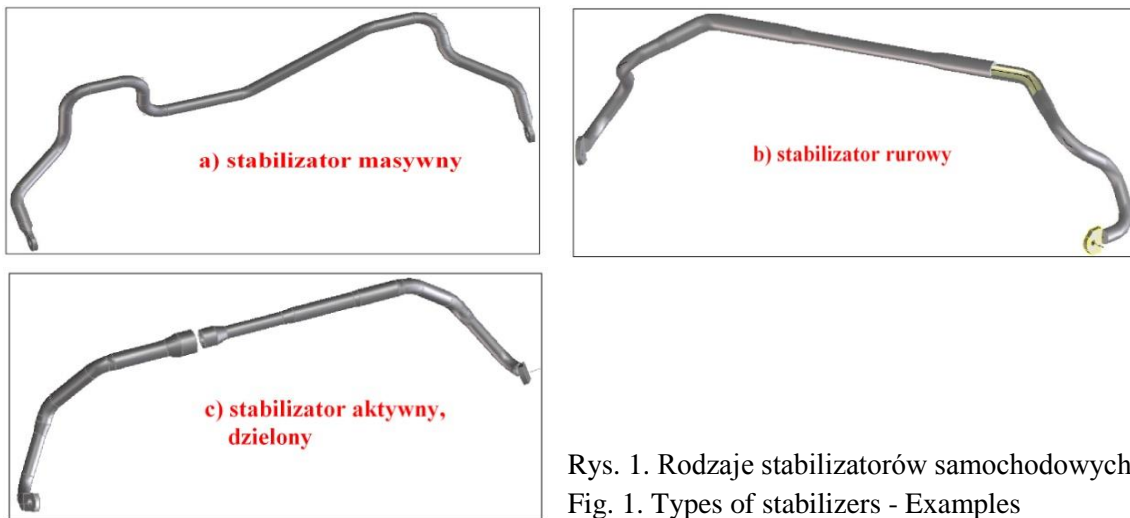
1. WPROWADZENIE

Stabilizatorami zawieszenia pojazdów samochodowych są pręty wygięte w kształcie litery U ze stali sprężynowej o kołowym lub pierścieniowym przekroju poprzecznym, z częścią tylną-grzbietową i ramionami. Przy projektowaniu stabilizatorów powinno brać się pod uwagę, aby stabilizator miał jak najmniej „załamań” i znajdował się w jednej płaszczyźnie. Przez uwzględnienie tych zasad konstrukcyjnych, narzucony proces technologiczno-produkcyjny jest łatwiejszy i bardziej efektywny. Niestety współczesne stabilizatory są gięte w wielu płaszczyznach, przyjmując często, w celu ominięcia innych elementów podwozia i nadwozia, skomplikowane kształty (rys. 1a i 1b). Klasyczna forma w kształcie litery U pozostaje jednak niezmienną. Spektrum produkcyjno-technologiczne stabilizatorów samochodowych obejmuje dwa obszary. Podstawowym kryterium podziału jest obrabiany materiał wyjściowy. Tak więc, we współczesnych pojazdach samochodowych

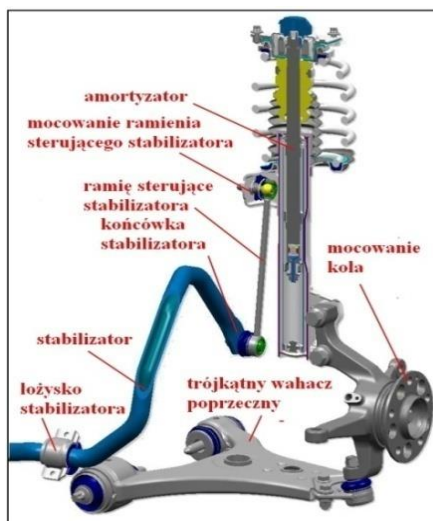
¹ ThyssenKrupp Federn & Stabilisatoren GmbH, Hagen, Germany, e-mail: adam.wittek@t-online.de

² Faculty of Transport, The Silesian University of Technology, Gliwice, Poland, e-mail: boguslaw.lazarz@polsl.pl

mamy do czynienia ze stabilizatorami prętowymi masywnymi i rurowymi. Stabilizatory aktywne, w części grzbietowej są podzielone w celu umożliwienia mocowania – zabudowy sprzęgła włączalnego lub serwomechanizmu (rys. 1c) [2, 5, 6, 7, 10, 20, 21, 24].



Rys. 1. Rodzaje stabilizatorów samochodowych
Fig. 1. Types of stabilizers - Examples



Rys. 2. Mocowanie stabilizatora w kolumnie McPhersona
Fig. 2. Attaching the stabilizer in McPherson struts

Jednym z typowych rozwiązań elementów zawieszenia, stosowanych we współczesnych pojazdach samochodowych, jest przedstawione na rys. 2 [2] mocowanie stabilizatora w kolumnie McPhersona. Ponieważ w przedstawionym rozwiązaniu mocowanie stabilizatora, amortyzator przemieszcza się wraz ze zmianą kierunku ruchu (obrotów amortyzatora wokół osi pionowej), więc połączenie stabilizatora jest możliwe dzięki zastosowaniu tzw. ramienia sterującego. Ramię sterujące jest łożyskowane obrotowo i poddane obciążeniom ściskającym i rozciągającym.

Zadaniem stabilizatorów jest zmniejszenie bocznych przechyłów nadwozia na zakręcie oraz wpływanie na kierowność, czyli na zwiększenie bezpieczeństwa jazdy. Działanie stabilizatora zmniejsza różnice chwilowych obciążeń działających na elementy sprężyste jednej osi, a więc jak gdyby powoduje wzrost sztywności zawieszenia po stronie bardziej obciążonej oraz zmniejszenie sztywności zawieszenia po stronie mniej obciążonej. Ujmując pogłębienie, stabilizator poprzeczny

odciąża bardziej odkształcony element resorujący i dociąga mniej odkształcony element resorujący. Stabilizatory powodują przemieszczanie poprzeczne, boczne (podczas jazdy na zakręcie) bez oddziaływania na koła. Tym samym osiągnięta zostaje redukcja przechyłów bocznych podczas jazdy po łuku.

Także dzięki stabilizatorowi wewnętrzne koła nie tracą przyczepności. Zmiana sztywności kątowej zawieszenia wpływa także na odchylenie promienia rzeczywistego od teoretycznego, wynikającego z geometrii układów kierowniczego i jezdnych, podczas pokonywania zakrętu. Zwiększenie sztywności kątowej zawieszenia przedniego przesunęła tendencję zachowania się podczas pokonywania zakrętu w kierunku podsterowności (poszerzenia zakrętu). Dodanie stabilizatora w tylnym układzie zawieszenia pozwoli przybliżyć zachowanie pojazdu do założonego. W przypadku napędu FWD, stabilizator

zapewni neutralne proporcje, podczas gdy dla RWD zwiększy się tendencja do nadsterowności. Stabilizator zapewnia również równoczesne oddziaływanie na koła w tym samym kierunku. W części centralnej stabilizator przymocowany jest do nadwozia za pomocą tulei gumowych [1, 5, 6, 7, 16, 19, 21, 24].

2. OBLICZENIA STABILIZATORÓW, WYTYCZNE KONSTRUKCYJNE

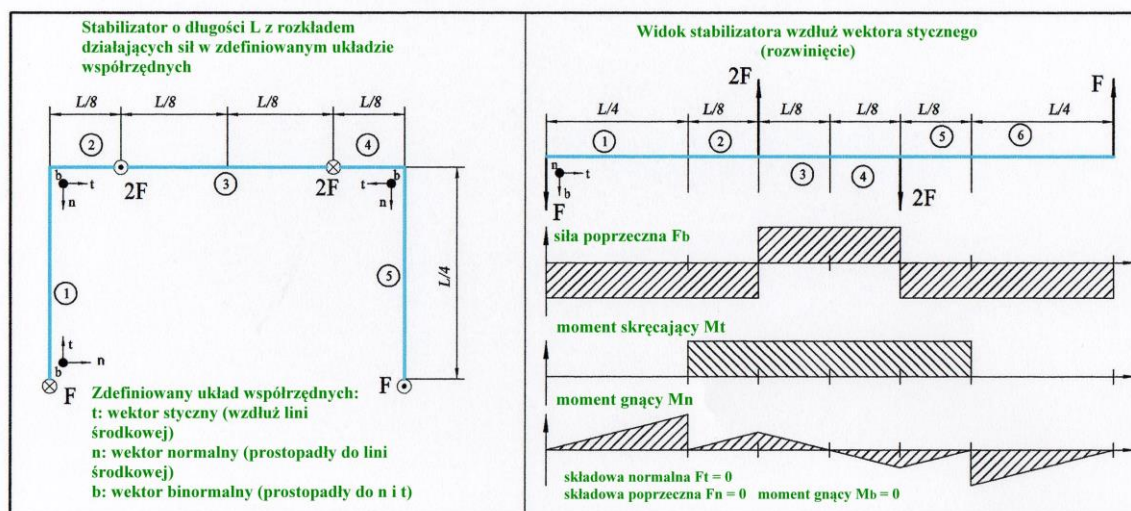
Obliczenia stabilizatora mają na celu takie uwzględnienie różnorodnych wymogów i wpływów, będących jednocześnie bazą do założeń naprężeń i odkształceń, aby projektowany stabilizator spełniał następujące kryteria [16]:

Weryfikacji działających sił, w ramach której przy uwzględnieniu i zachowaniu naprężeń dopuszczalnych, przeprowadzane są analizy naprężeń, bezpieczeństwa, dopuszczalnych obciążeń, a także trwałości oraz żywotności stabilizatora.

Weryfikacji funkcjonalności, w ramach której sprawdzane jest, w ramach przyjętych ograniczeń i tolerancji, zachowanie takich parametrów jak: wymagana sztywność, droga sprężysta stabilizatora jak też działających sił, wytrzymałości zmęczeniowej i innych specyficznych wymogów ze strony producentów pojazdów samochodowych.

2.1. Obliczenia wytrzymałościowe

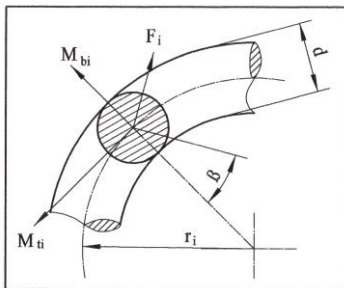
Podczas jazdy pojazdu po łuku na zamocowany stabilizator oddziałują siły reakcyjne F_s w końcówkach i F_l w łożyskach części grzbietowej stabilizatora. Założeniem wyjściowym do dalszych obliczeń jest sztywne, nieprzesuwne ułożyskowanie części tylnej, grzbietowej stabilizatora. Siły reakcyjne działające na stabilizator wywołują naprężenia styczne, ścinające i gnące. Te pierwsze są skutkiem działania momentu skręcającego i sił poprzecznych. Natomiast naprężenia gnące powstają w konsekwencji działania momentu gnącego. W obliczeniach wytrzymałościowych ramion stabilizatora uwzględnia się przede wszystkim naprężenia wynikające ze zginania. Natomiast w części tylnej, grzbietowej kluczową rolę odgrywają naprężenia wywołane skręcaniem i zginaniem [2, 6, 7, 10, 16, 19, 21, 24].



Rys. 3. Schemat obciążeniowy stabilizatora

Fig. 3. Schematic of load for stabilizer bar

Rysunek 3 przedstawia uproszczony schemat obciążeniowy stabilizatora. Do wyprowadzenia wzorów na naprężenia normalne i styczne w wygiętym stabilizatorze masywnym posłuży rysunek 4 [10].



Rys. 4. Wycinek – przekrój wygiętego stabilizatora masywnego
Fig. 4. Clipping – cross section of the massive, curved stabilizer bar

Naprężenia ścinające $\tau(M_t)$ występujące w wyniku działania momentu skręcającego, obliczamy wg wzoru [6, 7, 9, 10, 11, 16, 18, 19, 21, 24]:

$$\tau(M_{ti}) = \frac{M_{ti}}{I_p} \frac{\sqrt{1 - 2v_i \cos \beta + v_i^2}}{1 - \frac{\cos \beta}{w_i}}$$

$$w_i = 2 \frac{r_i}{d}$$

$$v_i = \frac{1}{2} \left[w_i - \sqrt{w_i^2 - 1} \right]$$

Naprężenia na ścinanie $\tau(F_i)$ w konsekwencji działania sił poprzecznych, można obliczyć wg wzoru:

$$\tau(F_i) = \frac{F_i}{A} \frac{1 + 2v_i}{1 + v_i} \cos \beta$$

Naprężenia na zginanie $\sigma(M_{bi})$ będące skutkiem zginania, można obliczyć wg wzoru:

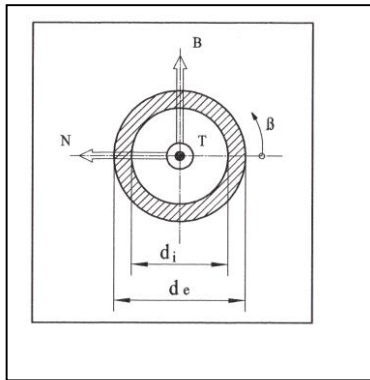
$$\sigma(M_{bi}) = \frac{M_{bi}}{I} \frac{\sin \beta}{1 - \frac{\cos \beta}{w_i}}$$

Hipotezy wytrzymałościowe Misesa, Hubera [9, 11, 18] pozwalają na obliczenie naprężeń zastępczych, uwzględniających naprężenia wynikające ze wzorów (1,4 i 5):

$$\sigma_{VG} = \sqrt{\sigma(M_{bi})^2 + 3[\tau(M_{ti}) + \tau(F_i)]^2}$$

Naprężenia ścinające będące konsekwencją oddziaływania sił poprzecznych na stabilizator rurowy, można obliczyć z pomocą rysunku 5 [10]. Dodatkowo założono, że w przekroju strefy giętej stabilizatora rurowego nie mamy do czynienia z owalizacją. Uwzględniając te założenia, przy obliczaniu naprężeń tnących $\tau(F_i)$, można się posłużyć następującym wzorem:

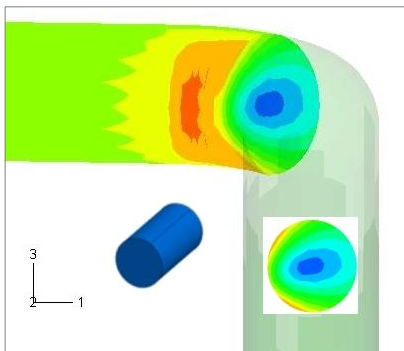
$$\tau(F_i) = \frac{F_i}{A} \frac{1 + 2v_i}{1 - \left(\frac{d_i}{d_e}\right)^2} \cos \beta$$



Rys. 5. Przekrój wygiętego stabilizatora rurowego

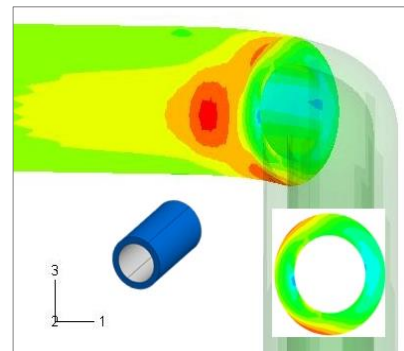
Fig. 5. Cross section of the tubular, curved stabilizer bar

Jednak w celu uzyskania optymalnych wskazówek do konstrukcji stabilizatora, tym samym wyboru właściwej technologii produkcyjnej, a także zagwarantowania maksymalnej trwałości i wytrzymałości w miejsce analitycznych metod obliczeniowych stosuje się metody elementów skończonych (MES) [14]. Uzyskane, detaliczne informacje o rozkładzie i wielkości naprężeń w stabilizatorze podczas gięcia pręta lub rury oraz o koncentracji naprężeń w obciążonym stabilizatorze mają zasadniczy wpływ na konstrukcję i dobór optymalnego procesu produkcyjno-technologicznego. Rysunek 8 [22] przedstawia rozkład naprężeń w strefach gięcia i mocowania – łożyskowania części grzbietowej, tylnej stabilizatora. Rysunki 6 i 7 [2] pokazują koncentrację naprężeń w strefach gięcia stabilizatorów masywnego i rurowego.



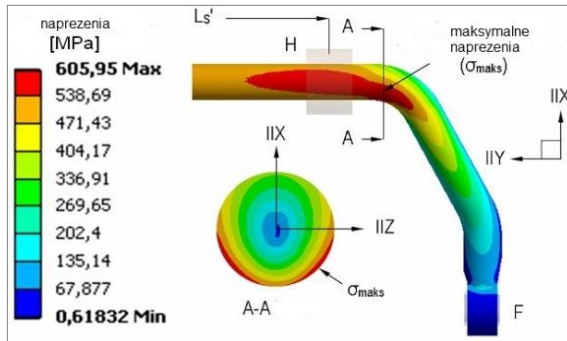
Rys. 6. Rozkład naprężeń w strefie gięcia stabilizatora masywnego

Fig. 6. Stress distribution in the bending of the solid stabilizer bar



Rys. 7. Rozkład naprężeń w strefie gięcia stabilizatora rurowego

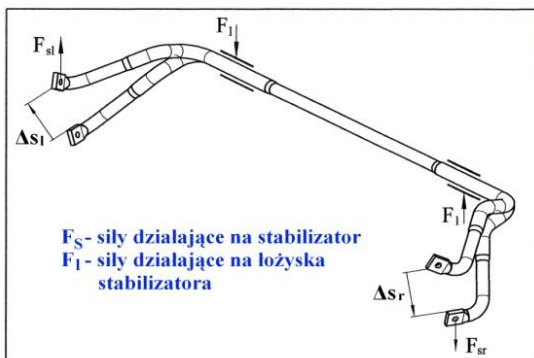
Fig. 7. Stress distribution in the bending of the tubular stabilizer bar



Rys. 8. Rozkład naprężeń w strefach gięcia i łożyskowania stabilizatora masywnego
Fig. 8. Stress distribution in the bending and bearing of the solid stabilizer bar

Wyraźna koncentracja maksymalnych naprężeń ma miejsce w strefach gięcia i łożyskowania stabilizatorów. Zauważalna jest również, w porównaniu ze stabilizatorami masywnymi, zwiększona koncentracja naprężeń w stabilizatorach rurowych, przy tych samych parametrach obciążeniowych. W obliczeniach tych pominięto owalizację stabilizatora rurowego, przyjmując stały przekrój kołowy – pierścieniowy. W praktycznych obliczeniach należy jednak uwzględnić te zmiany przekroju. Ponieważ owalizacja w strefach gięcia stabilizatorów masywnych jest praktycznie niewielka i nie ma znaczącego wpływu na trwałość i wytrzymałość stabilizatora, więc w praktyce można ją w obliczeniach MES całkowicie pominąć.

2.2. Obliczenia sztywności stabilizatora [2, 6, 7, 10, 16, 19, 20, 21, 24]



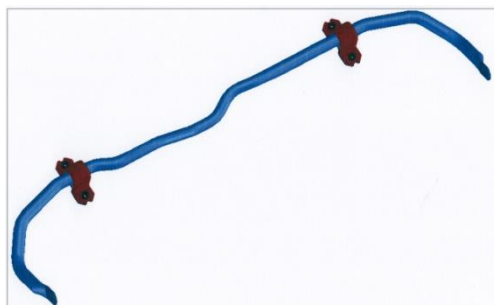
Rys. 9. Schemat obciążeń i przemieszczeń występujących w stabilizatorze
Fig. 9. Load and movement pattern in the stabilizer bar

- Sztywność stabilizatora wynika z sumy odchyłeń – przemieszczeń końcówek pręta/rury (założone wartości przemieszczeń), a także działających sił (rys. 9). Sztywność z pominięciem pozostałych elementów, takich jak łożyskowanie i mocowanie, oblicza się wg wzoru:

$$c_{Stab} = \frac{(F_{st} + F_{sr})/2}{\Delta s_l + \Delta s_r}$$

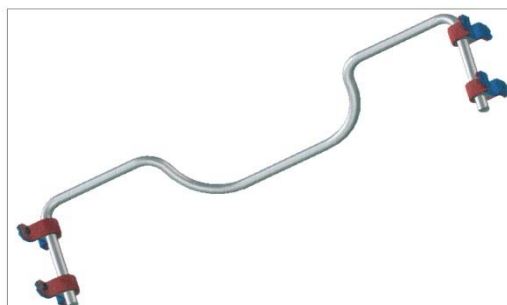
- Będą brane pod uwagę tylko składowe prostopadłe przemieszczeń i działających sił.
- Sztywność stabilizatora jest wyrażona w N/mm.

2.3. Funkcje i wymagania stawiane elementom łożyskowym stabilizatorów



Rys. 10. Czołowe mocowanie i łożyskowanie stabilizatora

Fig. 10. Frontal mounting and bearing of the stabilizer bar



Rys. 11. Mocowanie i łożyskowanie boczne

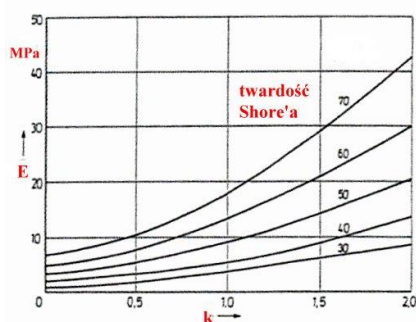
Fig. 11. Lateral mounting and bearing

Każdy stabilizator ma od 4 do 6 baz łożyskowych – w przypadku zagwarantowanej możliwości przemieszczania wzdłużnego części tylnej stabilizatora, względnie końcówek ramion dzięki podporom wahadłowym. Bazy te mają charakter (częściowo lub całkowicie) łożyskowania elastyczno-sprężystego. Dzięki tej charakterystyce łożyskowanie ma zasadniczy wpływ na kształtowanie się całkowitej sztywności stabilizatora. Rozmiar tego wpływu jest uzależniony nie tylko od charakterystyki sprężysto-elastycznej łożyskowania.

Dalszymi aspektami mającymi wpływ na zmiany sztywności są: umiejscowienie łożyskowania, twardość Shore'a, a także objętość zastosowanego materiału. Funkcje i wymagania stawiane łożyskowaniu w części tylnej stabilizatora [2, 6, 8, 10]:

- zwiążanie/mocowanie stabilizatora w określonych miejscach podwozia lub nadwozia pojazdu samochodowego, możliwość przejmowania lub przenoszenia działających sił i momentów,
- zapewnienie obrotowego stopnia swobody:
 - bez tarcia lub z uwzględnieniem minimalnego tarcia,
 - wytworzenie dodatkowej, ściśle zdefiniowanej sztywności skrętnej pręta (współczynnik dodatkowy sztywności stabilizatora),
- zagwarantowanie osiowego przenoszenia sił poprzecznych.

O maksymalnej obciążalności łożysk decyduje rodzaj zastosowanego tworzywa, charakteryzującego się określoną możliwością do odkształceń, a także „zrzutowana” powierzchnia tulejki wewnętrznej oraz wynikające z tego specyficzne wielkości obciążeń. Parametrem charakteryzującym zastosowany materiał jest moduł sprężystości poprzecznej G , który uzależniony jest od twardości Shore'a tworzywa. Moduł sprężystości podłużnej E wynika z zależności pomiędzy modułem sprężystości poprzecznej i współczynnikiem k (charakteryzuje obciążoną bądź nieobciążoną powierzchnię):



Rys. 12. Współczynnik kształtu/geometrii łożysk

Fig. 12. Shape Factor of bearings

Ponieważ współczynnik ten zmienia się wraz z rosnącym obciążeniem, więc charakterystykę tworzywa odzwierciedla nieliniowa, progresywna krzywa, w funkcji działających sił do przemieszczeń – odkształceń (rys. 12) [8]. Ogólne wzory opisujące łożyska stabilizatorów samochodowych przyjmują następującą postać:

$$c_d = E' \frac{A}{h}$$

$$c_s = G' \frac{A}{h}$$

$$E' = 3G(1 + k + k^2),$$

gdzie: k – obciążona/nieobciążona powierzchnia,
 h – wysokość łożyska w kierunku działania siły ściskającej,

$$G' = Gf(X),$$

gdzie X – współczynnik uwzględniający kształt i podwójne gięcie przy odkształceniach podczas ścinania

3. PRODUKCJA – GIĘCIE/FORMOWANIE STABILIZATORÓW NA GORĄCO I NA ZIMNO

Stabilizatory masywne są gięte/formowane przeważnie na gorąco. Niezbędne jest ponowne nagrzanie do dalszego ulepszania cieplnego (nie jest to jednak związane z dodatkowym procesem technologicznym).

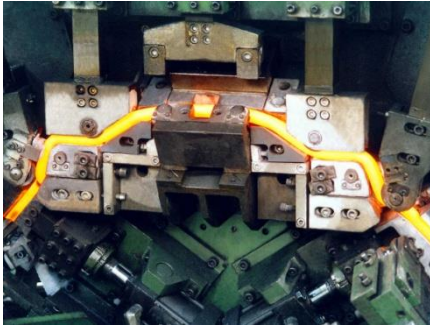
Zalety:

- siły działające podczas obróbki plastycznej – niezbędne do osiągnięcia wymaganych odkształceń plastycznych w porównaniu z innymi procesami są stosunkowo małe,
- krótkie takty pracy przy wykorzystaniu stołu do gięcia/z elementami formującymi, gnącymi.

Wyjątki: gięcie na zimno stabilizatorów niepoddawanych ulepszaniu cieplnemu, o niskich wymagach wytrzymałościowych, ze stali o wyjściowych, wysokich parametrach wytrzymałościowych.

Stabilizatory rurowe są przeważnie gięte/formowane na zimno w krawędziarkach – maszynach do gięcia profili. W przeciwieństwie do stabilizatorów masywnych gięcie – nadawanie wymaganego kształtu przy wykorzystaniu stołu do gięcia/z elementami formującymi, gnącymi jest niewskazane i niekorzystne, ponieważ proces ten w zależności średnicy do grubości ścianek może doprowadzić do wyboczenia rury. Wyjątkiem są rury o stosunkowo dużej grubości ścianek [6, 15, 17, 23].

Prętowe elementy sprężyste, a więc stabilizatory i drążki skrętne, po ulepszaniu cieplnym poddane są dalszym procesom obróbczym, stosowanym także w produkcji sprężyn resorowych.



Rys. 13. Maszyna do gięcia stabilizatorów na gorąco (źródło *TKBS*)

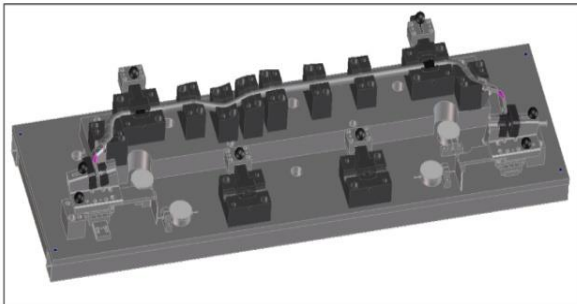
Fig. 13. Bending machine for hot extrusion bars (source *TKBS*)



Rys. 14. Automat do gięcia stabilizatorów na zimno (źródło *TKBS*)

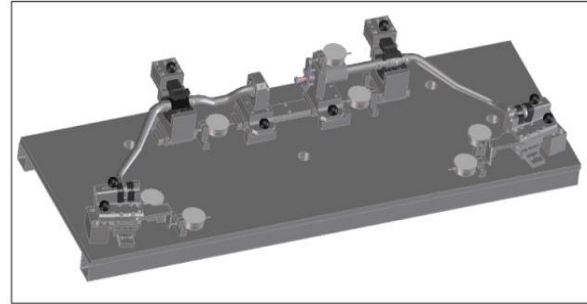
Fig. 14. Cold bending machine for car stabilizer (source *TKBS*)

Drażki skrętne narażone na swobodne skręcania, poddane są ścisaniu – prasowaniu na zimno. W przypadku stabilizatorów podlegającym zmiennym obciążeniom, proces ścisania – prasowania jest zbędny.



Rys. 15. Oprzyrządowanie do prostowania i korekcji kształtu stabilizatora (źródło *TKBS*)

Fig. 15. Straightening gauge (source *TKBS*)



Rys. 16. Oprzyrządowanie do kontroli geometrii stabilizatora (źródło *TKBS*)

Fig. 16. Master gauge (source *TKBS*)

Niezbędne jest natomiast prostowanie, a także ewentualna korekcja kształtu stabilizatora (rys. 15). W produkcji seryjnej, dokładność wykonania stabilizatora zostaje poddana dokładnej kontroli za pomocą odpowiedniego oprzyrządowania (rys. 16) [6, 15, 17, 23]. Dlatego już podczas wykonywania rysunków technicznych stabilizatora, ważne jest przygotowanie koncepcji wstępnej takiego oprzyrządowania.

3.1. Produkcja – obróbka końcówek stabilizatorów

Fazy obróbcze końcówek z otworem:

- 1) wytłaczanie (forma wstępna),
- 2) dziurowanie,
- 3) kalibrowanie, dogniatanie (obróbka końcowa z uwzględnieniem tolerancji),
- 4) okrawanie.

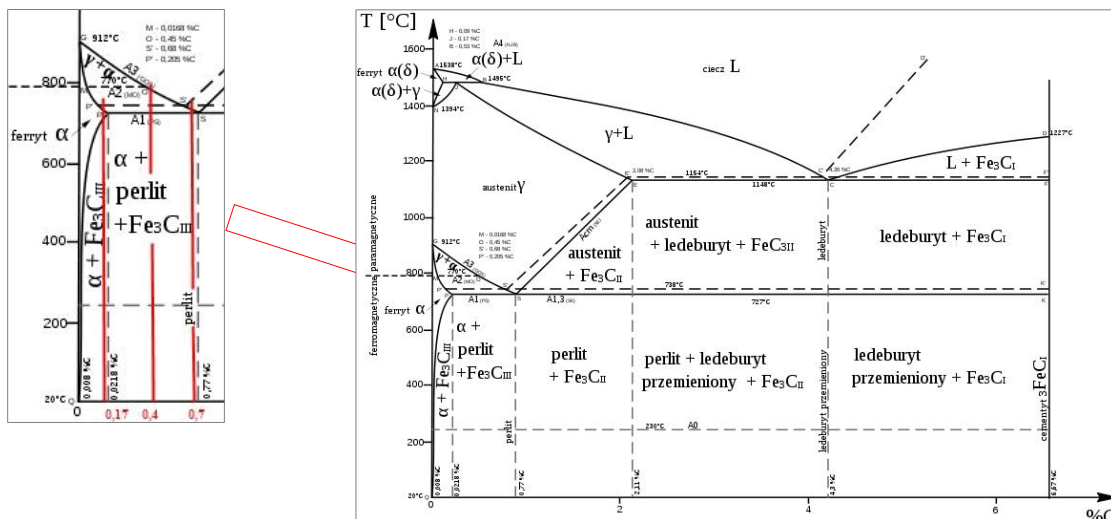


Rys. 17. Fazy obróbki końcówek stabilizatorów samochodowych
 Fig. 17. Machining operation of ends the stabilizer bar

4. MATERIAŁY DO PRODUKCJI STABILIZATORÓW/STALE SPRĘŻYNOWE

W produkcji stabilizatorów samochodowych znajdują zastosowanie między innymi pręty i rury stalowe [1, 2, 3, 4, 12]:

- z niskostopowych stali do ulepszenia cieplnego,
- ze stali o zawartości węgla C pomiędzy 0,17 i 0,7% (rys. 17),
- ze stali wytworzonej w odlewaniu ciągłym ze zdefiniowanym schładzaniem.



Rys. 18. Wykres żelazo – węgiel
 Fig. 18. Iron-Carbon Diagram

Wymogi stawiane stalom sprężynowym:

- wysoka wytrzymałość przy określonej, wymaganej ciągliwości,
- drobnoziarnista struktura,
- wysoki stopień czystości,
- minimalna, niewielka skłonność do odwęglania,
- dobre cechy hartownicze.

Wpływ, oddziaływanie składników stopowych:

- C podwyższa wytrzymałość, obniża ciągliwość stali,
- Si podwyższa ciągliwość stali, zwiększa jej skłonności do odwęglania,

- Mn zwiększa wytrzymałość i wpływa pozytywnie na cechy hartownicze stali (przy hartowaniu na wskroś),
- Cr zwiększa odporność na korozję i polepsza właściwości hartownicze,
- V zwiększa ciągliwość stali przez wpływ na kształtowanie się struktury drobnoziarnistej i tworzenie się węgla,
- Ni podwyższa ciągliwość stali,
- B polepsza właściwości hartownicze stali (przy hartowaniu na wskroś),
- Mo polepsza właściwości hartownicze stali przez obniżenie krytycznych szybkości schładzania.

Stal: 55Cr3 [3, 4] charakteryzuje się wysoką zawartością węgla i bardzo dobrymi właściwościami do ulepszania cieplnego. Ulepszanie cieplne zależne jest bezpośrednio od temperatur niezbędnych do obróbki plastycznej. Poniższe tabele zawierają informacje o składzie chemicznym i o podstawowych parametrach wytrzymałościowych stali.

Tabela 1

Skład chemiczny stali

rodzaj stali	numer stali	C	Si	Mn	P	S	Cr
55Cr3	1.7176	0,52 - 0,59	max. 0,40	0,70 - 1,00	max. 0,025	max. 0,025	0,70 - 1,00

Tabela 2

Właściwości wytrzymałościowe stali

rodzaj stali	numer stali	R _m [MPa]	R _{p0,2} [MPa]	A [%]	Z [%]
55Cr3	1.7176	1320 - 1720	1200 - 1550	9 - 13,5	34 - 48

Stal: 17MnV7 [3, 4] charakteryzuje się wysoką, względną twardością wyjściową, nie jest poddawana ulepszeniu cieplnemu po obróbce plastycznej na zimno. Poniższe tabele zawierają informacje o składzie chemicznym i o podstawowych parametrach wytrzymałościowych stali.

Tabela 3

Skład chemiczny stali

rodzaj stali	numer stali	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	V	Al
17MnV7	1.0870	0,18 - 0,23	0,40 - 0,50	1,42 - 1,60	max. 0,030	max. 0,025	max. 0,15	max. 0,15	0,08 - 0,11	0,030 - 0,060

Tabela 4

Właściwości wytrzymałościowe stali

rodzaj stali	numer stali	R _m [MPa]	R _{p0,2} [MPa]	A [%]	Z [%]
17MnV7	1.0870	1420 - 1490	1075 - 1190	13 - 15	42 - 54

Stal: 26MnB5. Ulepszanie cieplne zależne jest bezpośrednio od temperatur niezbędnych do obróbki plastycznej. Poniższa tabela zawiera informacje o składzie chemicznym stali.

Tabela 5

Skład chemiczny stali

rodzaj stali	numer stali	C	Si	Mn	P	S	Cr	Al	Ti	B
26MnB5	1.1161	0,24 - 0,28	0,20 – 0,30	1,20 - 1,40	max. 0,020	max. 0,020	0,10 – 0,20	0,02 – 0,06	0,02 – 0,05	0,0015 - 0,0035

Stal: **34MnB5** jest poddawana ulepszeniu cieplnemu po obróbce plastycznej na zimno. Poniższa tabela zawiera informacje o składzie chemicznym stali.

Tabela 6

Skład chemiczny stali

rodzaj stali	numer stali	C	Si	Mn	P	S	Cr	Al	Ti	B
34MnB5	1.1166	0,33 - 0,37	0,25 – 0,30	1,20 - 1,40	max. 0,020	max. 0,005	0,10 – 0,18	0,02 – 0,05	0,02 – 0,04	0,0015 - 0,0035

5. PODSUMOWANIE

W artykule przedstawiono zależności pozwalające prowadzić obliczenia wytrzymałościowe oraz wyznaczać sztywność stabilizatorów samochodowych, przy uwzględnieniu sztywności łożyskowania. Dokonano również analizy funkcji i wymagań stawianym elementom łożyskowym stabilizatorów i przeanalizowano istotne, z punktu widzenia konstruktora, aspekty procesów produkcji stabilizatorów samochodowych. W ostatnim rozdziale zestawiono charakterystyki stali sprężynowych, najczęściej wykorzystywanych do produkcji stabilizatorów.

Przedstawione w pracy zależności i analizy prowadzą do wniosku, że projektant podczas konstruowania powinien rozważyć wiele zależności związanych z pracą stabilizatora w pojeździe, zastosowanym materiałem oraz procesem produkcyjnym. Takie kompleksowe podejście jest podstawą opracowania dobrej konstrukcji i wdrożenia jej do produkcji seryjnej, przy zapewnieniu odpowiedniej jakości i wytrzymałości zmęczeniowej.

Bibliografia

1. Brendecke T., O. Götz, H. Dziemballa. 2009. „Leichtbau im Fahrwerk durch innovative Werkstoffe und Prozesse“ . [In German: „Lightweight chassis design with innovative materials and processes”]. In *ThyssenKrupp Technoforum 2009*. Essen.
2. Brendecke T., O. Götz, F. Schneider, B. Brust. Dezember 2006. „Präsentation Wissenmanagement Stabilisatoren“. [In German: „Presentation knowledge management stabilizers”]. ThyssenKrupp Bilstein Suspension GmbH.
3. DIN EN 10089. *Warmgewalzte Stähle für vergütbare Federn – Technische Lieferbedingungen*. [In German: *Hot rolled steels for quenched and tempered springs - technical delivery*]. Deutsche Fassung EN 10089:2002, Ausgabedatum: 2003-2004.
4. DIN EN 10087. *Automatenstähle – Technische Lieferbedingungen für Halbzeug, warmgewalzte Stäbe und Walzdraht*. [In German: *Cutting steels - technical delivery conditions for semi-finished products, hot rolled bars and wire*]. Deutsche Fassung EN 10087:1998, Ausgabedatum: 1999-2001.
5. Dziemballa H., L. Manke. 2004. „Gewichtsreduzierung durch hochbeanspruchte Rohr-stabilisatoren“. [In German: „Weight saving through high stressed tubular stabilizer”]. In *ThyssenKrupp Technoforum 2004*. Essen.

6. Estorff H.E. 1969. *Technische Daten Fahrzeugfedern Teil:3 Stabilisatoren*. [In German: *Specifications vehicle springs Part 3 Stabilizers*]. Köln: Stahlwerke Brüninghaus GmbH, Werk Werdohl, Hang Druck KG.
7. Fischer F., H. Vondracek. 1987. *Warm geformte Federn – Konstruktion und Fertigung*. [In German: *Thermoformed springs - design and production*]. Bochum: Hoesch Werke, Hoesch Hohenlimburg AG, W.Stumpf KG.
8. Göbel D. 2006. *Berechnung und Gestaltung von Gummifedern. 5*. [In German: *Calculation and design of rubber springs. 5*]. Berlin – Heidelberg: Auflage Springer Verlag.
9. Heinze P. 2010. *Technische Mechanik II. Festigkeitslehre. 1. Auflage*. [In German: *Engineering Mechanics II. Strength of Materials. 1st edition*]. Wismar: Hochschule Wismar.
10. Heißing B., M. Ersoy. 2008. *Fahrwerkhandbuch – Grundlagen, Fahrdynamik, Komponenten, Systeme, Mechatronik, Perspektiven. 2. Auflage*. [In German: *Chassis handbook - Fundamentals, Driving Dynamics, Components, Mechatronics, Perspectives. 2nd Edition*]. Wiesbaden: Vieweg + Teubner.
11. Jakubowicz A., Z. Orłoś. 1984. *Wytrzymałość materiałów*. [In Polish: *Strength of materials*]. Warszawa: WNT.
12. Jaśkiewicz Z. 1990. *Poradnik inżyniera samochodowego. Elementy i materiały*. [In Polish: *Guidance for automotive engineer. Components and materials*]. Warszawa: Wydawnictwo Komunikacji i Łączności.
13. Khodayari G. 1993. *Untersuchungen zum elastisch – plastischen Biegen von Stahlprofilen*. [In German: *Investigations on the elastic - plastic bending of steel profiles*]. Siegen: Dissertation, Universität Siegen.
14. Klein B. 2007. *FEM – Grundlagen und Anwendungen der Finite-Element-Methode im Maschinen- und Fahrzeugbau. 7. Auflage*. [In German: *FEM - Fundamentals and applications of the finite element method in mechanical and automotive. 7th edition*]. Wiesbaden: Vieweg Studium Technik.
15. Klocke F., W. König. 2006. *Fertigungsverfahren 4 – Umformen. 5. Auflage*. [In German: *Manufacturing processes 4 - Forming. 5th edition*]. Berlin – Heidelberg: Springer Verlag.
16. Meissner M., H.J. Schorcht. 2007. *Metallfedern – Grundlagen, Werkstoffe, Berechnung, Gestaltung und Rechnereinsatz. 2. Auflage*. [In German: *Metal springs - Fundamentals, Materials, Analysis, Design, and Computer Use. 2nd Edition*]. Ilmenau: Springer Verlag.
17. Meissner M., F. Fischer, K. Wanke, M. Plitzko. 2009. *Die Geschichte der Metallfedern und Federtechnik in Deutschland. 1. Auflage*. [In German: *The history of metal springs and technology in Germany. 1st edition*]. Ilmenau: Universitätsverlag Ilmenau.
18. Muhs D., H. Wittel, D. Jannasch, J. Voßiek. 2007. *Roloff/Matek Maschinenelemente – Normung, Berechnung, Gestaltung. 18. Auflage*. [In German: *Roloff / Matek Machine Elements - standardization, calculation, design. 18th edition*]. Wiesbaden: Viewegs Fachbücher der Technik.
19. Mitschke M. 1989. *Teoria samochodu – Dynamika samochodu tom 2/ Drgania*. [In Polish: *The theory of the car - the car dynamics volume 2 / Vibration*]. Warszawa: Wydawnictwo Komunikacji i Łączności.
20. Reimpell J., J.W. Betzler. 2005. *Fahrwerktechnik – Grundlagen. 5. Auflage*. [In German: *Suspension - Fundamentals. 5th edition*]. Würzburg: Vogel Verlag.
21. *Technische Daten Fahrzeugfedern*. [In German: *Specifications vehicle springs*]. Stahlwerke Brüninghaus GmbH, Werk Werdohl, E. Anding KG, Herborn 1965.
22. Topac M., N.S. Kuralay. Computer aided design of an anti-roll bar for a passenger bus.
23. Tschätsch H., J. Dietrich. 2008. *Praxis der Umformtechnik. 9. Auflage*. [In German: *Practice of Forming. 9th edition*]. Wiesbaden: Vieweg + Teubner.
24. Ulbricht J., H. Vondracek, S. Kindermann 1973. *Warm geformte Federn – Leitfaden für Konstruktion und Fertigung*. [In German: *Thermoformed springs - Guidelines for the design and manufacture*]. Bochum: Hoesch Werke, Hohenlimburg Schwerte AG, W.Stumpf KG.