ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1979

Seria: HUTNICTWO z. 18 Nr kol. 606

Fryderyk KNAP

Politechnika Częstochowska

OCENA PRZYDATNOŚCI MATERIAŁU DO PROCESU CIĄGNIENIA DRUTÓW

Streszczenie. W pracy wykazno, że dopuszczalny stopień odkształcenia przy ciągnieniu należy uzależniać od następujęcych czynników: współczynnika tarcia, oporu odkształcenia plastycznego, stanu warstwy wierzchniej, kształtu otworu roboczego ciągadła, własności plastycznych ciągnionego materiału w skali makro, niejednorodności materiału ciągnionego, prędkości ciągnienia, możliwych zmian prędkości ciągnienia, modułu umocnienia.

Ocena przydatności materiału do ciągnienia winna przede wszystkim obejmować: ocenę własności materiału ciągnionego w oparciu o próbę rozciągania, skręcania, czy też próbę udarności, ocenę stanu warstwy wierzchniej oraz ocenę współczynnika tarcia.

1. WSTĘP

Prawidłowy przebieg procesu ciągnienia jest uzależniony od: charakterystyki materiału, warunków smarowania, stanu ciągadła oraz od charakterystyki ciągarki. Jednym z najistotniejszych czynników jest charakterystyka materiału.

Zagadnieniu oceny przydatności materiału wyjściowego do różnych operacji plastycznego kształtowania poświęcono szereg prac. Dotychczas najwięcej prac poświęcono ocenie przydatności blachy do tłoczenia na zimno, stosunkowo mało prac poświęcono ocenie materiałów do pozostałych procesów plastycznego kształtowania.

Przy praktycznej realizacji procesów odczuwa się wyraźnie brak kryteriów, w oparciu o które można by ocenić przydatność materiału wyjściowego do plastycznego kształtowania. Celem niniejszej pracy jest podjęcie próby opracowania kryteriów oceny przydatności materiału do ciągnienia.

2. WPŁYW RÓŻNYCH CZYNNIKÓW NA DOPUSZCZALNY STOPIEŃ ODKSZTAŁCENIA

Dopuszczalny stopień odkształcenia przy ciągnieniu winien być uzależniony od następujących najważniejszych czynników

$$\varepsilon_{dop} = f(\mu, \sigma_p, j, k, w, n, V, \frac{dV}{dt}, \frac{d\sigma}{d\varepsilon}), \qquad (1)$$

gdzie:

μ - współczynnik tarcia,

σ_p - opór plastyczny,

j - stan warstwy wierzchniej,

k - kształt otworu roboczego ciągadła,

w - własności plastyczne ciągnionego materiału w skali makro,

n - niejednorodność geometryczna, strukturalna, mechaniczna,

V - prędkość ciągnienia,

$\frac{dV}{dt}$ - zmiana prędkości ciągnienia,

$\frac{d\sigma}{d\varepsilon}$ - moduł umocnienia.

Jakościowy wpływ poszczególnych czynników na dopuszczalny stopień odkształcenia w jednym ciągu przedstawiono na rys. 1.

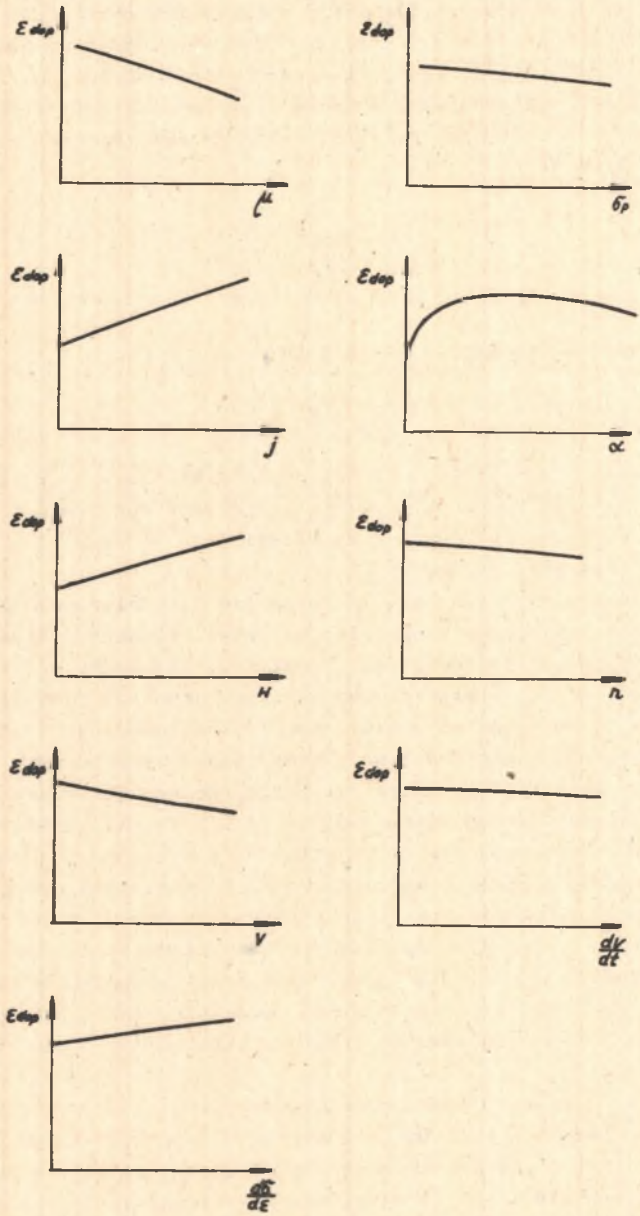
Wzrost współczynnika tarcia powoduje wzrost naprężeń ciągnienia, wzrasta nierównomierność odkształcenia, następuje intensywniejsze nagrzewanie się warstw wierzchnich, co w konsekwencji prowadzi do wzrostu naprężeń cieplnych i jednocześnie wzrostu wytężenia. Wpływ tego czynnika jest bardzo silny.

Wpływ oporu plastycznego na dopuszczalny stopień odkształcenia nie jest w pełni uwzględniany przez szereg badaczy i technologów, chociaż w praktycznej realizacji procesu ciągnienia stosuje się tym mniejsze stopnie odkształcenia, im wyższa wartość oporu plastycznego. Taki schemat wpływu można między innymi uzasadnić tym, że im wyższy opór odkształcenia, tym wyższa wartość sił tarcia, większa praca tarcia, wyższa temperatura warstw powierzchniowych i co z tym związane - większe naprężenia cieplne, które w przypadku ciągnienia drutów twardych mogą osiągnąć bardzo duże wartości.

Pod pojęciem stanu warstwy wierzchniej rozumiem przede wszystkim jednorodność strukturalną, występowania np. na powierzchni wtrąceń niemetalicznych wyraźnie obniża jakość i zmusza do stosowania mniejszych stopni odkształcenia.

Kształt ciągadła jest charakteryzowany przez kąt stożka zgniatającego α oraz długość części kalibrującej. Im dłuższa część kalibrująca, tym wyższe naprężenia ciągnienia. Odnośnie kąta α wielokrotnie stwierdzono, że przy pewnej jego wartości naprężenia, ciągnienia są mniejsze, zaleca się stosowanie właśnie takiej wartości kąta α. Z drugiej zas strony kąt α może również wywierać wpływ na jakość wyrobu ciągnionego, trwałość ciągadła, jego cenę i bardziej uzasadnione może być stosowanie ciągadła o kącie różnym od kąta, przy którym naprężenia są najmniejsze.

Jednostkowy stopień odkształcenia winien być również uzależniony od własności plastycznych w skali makro. Im niższe własności plastyczne, tym większa skłonność do pękania materiału. Można opierać się na takich własnościach, jak przewężenie wyznaczone na podstawie rozciągania, ilości skręceń, czy też ilości przegięć. Własności te nie odzwierciedlają jednak w pełni skłonności materiału do pękania.



Rys. 1. Wpływ różnych czynników na dopuszczalny stopień odkształceń przy ciągnieniu

Wydaje się, że celowe byłoby sięgnięcie po kryteria stosowane w mechanice pękania, tj. krytyczne rozwarcie δ_i oraz całkę Rice'a, gdyż współczynnik intensywności naprężeń K_{Ic} jest w tym przypadku mniej przydatny.

Do wyznaczenia wymienionych własności stosuje się dosyć duże próbki, aby zostały spełnione określone kryteria. Można by sięgnąć do bardziej uproszczonych kryteriów, np. stosunku udarności próbek okrągłych z naciętym karbem V lub karbem zmęczeniowym do naprężenia uplastyczniającego. Praca gięcia próbek podczas badania udarności zostanie zużytkowana na czyste odkształcenie plastyczne

$$A_1 = \iiint_V \int_0^{\varepsilon_i} \sigma_p d\varepsilon_i dV \tag{2}$$

oraz pracę utworzenia nowych powierzchni

$$A_2 = 2 \quad F. \tag{3}$$

Jeśli przyjmiemy, że $A_2 \ll A_1$, to całkowita praca idzie na odkształcenie plastyczne. Dzieląc pracę A_1 przez σ_p pozostanie nam iloczyn objętości odkształconej plastycznie przez odkształcenie. Im większy ten iloczyn, tym wyższe własności plastyczne.

Dla wyrobienia sobie poglądu na tę sprawę nieodzowne byłoby przeprowadzenie badań w tym zakresie. Zwykle, materiał ciągniony charakteryzuje się określonym stanem niejednorodności struktury, własności mechanicznych oraz strukturą geometryczną materiału wyjściowego. Projekt procesu technologicznego winien uwzględniać wymienione niejednorodności.

Niejednorodność wyjściowa będzie powodowała występowanie również niejednorodności materiału po ciągnieniu. Niejednorodność materiału będzie powodowała zmianę stopnia wytężenia materiału, i tak: jeśli np. średnica drutu przy wchodzeniu w obszar odkształcenia plastycznego lub granica plastyczności będzie większa w stosunku do stanu nominalnego; będzie to powodowało wzrost wytężenia przeciągniętej części drutu. W związku z tym, że praktycznie materiał wyjściowy (szczególnie walcówka) zawsze wykazuje pewną niejednorodność geometryczną, strukturalną i mechaniczną - chwilowe wytężenie materiału będzie zmieniało się podczas ciągnienia. Niejednorodność materiału winna być uwzględniona przy projektowaniu procesu technologicznego.

Wzrost prędkości ciągnienia może z jednej strony powodować spadek współczynnika tarcia, ale z drugiej strony będzie występowało intensywniejsze nagrzewanie się warstw wierzchnich drutu, co będzie prowadziło do wzrostu naprężeń cieplnych. W zdecydowanej większości przypadków będzie przeważał drugi wpływ. Zatem, im większa prędkość, tym należałoby stosować mniejsze jednostkowe odkształcenia.

Zmiana prędkości ciągnienia będzie powodowała występowanie obciążeń dynamicznych. Im większe przyspieszenie, tym większe siły bezwładności przed wejściem drutu do ciągadła i większe naprężenie ciągnienia. Wzrost przyspieszenia będzie powodował spadek dopuszczalnych odkształceń.

Przy ciągnieniu siła ciągnienia jest przyłożona do przeciągniętej części materiału, a więc już umocnionej w wyniku odkształcenia na zimno. Im intensywniej umacnia się materiał, tym mniejsze jego wytężenie poza ciągadłem. Zatem umocnienie jest korzystne z punktu widzenia wytężenia materiału przy ciągnieniu. Im intensywniej umacnia się materiał,tym można dopuszczać większe odkształcenie.

3. OCENA PRZYDATNOŚCI MATERIAŁU DO CIĄGNIENIA

Wydaje się, że ocena przydatności materiału do ciągnienia winna uwzględniać:

1. Ocenę własności drutu w skali makro na podstawie krzywej odkształcalności granicznej lub też w oparciu o np. próbę rozciągania lub skręcania, spęczania, czy też proponowaną próbę udarności.
2. Ocenę stanu warstwy wierzchniej - można by spróbować dokonać takiej oceny w oparciu o badania rozkładu wtrąceń na Quantimecie.
3. Ocenę współczynnika tarcia.

Wykonanie takiej oceny, w oparciu o zaproponowane kryteria, nie będzie łatwe. Z zaproponowanych prób najwięcej kłopotu może sprawiać ocena stanu warstwy wierzchniej w oparciu o analizę rozkładu wtrąceń niemetalicznych. Sprawa jest o tyle trudna, że Quantimet jest specjalistyczną aparaturą, którą posiadają nieliczne ośrodki. Na początek można by się ograniczyć do oceny w oparciu o prostą próbę mechaniczną tj. rozciąganie, skręcanie i spęczanie oraz wyznaczenie współczynnika tarcia w oparciu o przekształcony wzór na naprężenia ciągnienia lub w oparciu o pomiar temperatury. Jeśli chodzi o próbę mechaniczną, to wydaje się, że bardzo przydatna może być próba skręcania jako najbardziej zbliżona pod względem stanu naprężenia do stanu panującego przy wyjściu drutu z obszaru odkształcenia plastycznego.

Przyjmując określony stopień wytężenia materiału przy wyjściu z ciągadła [1] można wyznaczyć, dla danego kształtu ciągadła, zdolności do umacniania określonego współczynnika tarcia - dopuszczalny stopień odkształcenia w jednym ciągu. W przypadku ciągnienia drutu o wysokiej wytrzymałości należałoby skorygować uzyskany stopień odkształcenia, mając na uwadze wpływ naprężeń cieplnych oraz większej skłonności do pękania wysokowytrzymałościowych drutów w stosunku do drutów niskowytrzymałościowych. Średnio należałoby zmniejszyć jednostkowy stopień odkształcenia o około 5-10%.

Należałoby wyraźnie podkreślić, że ostateczny rezultat procesu ciągnienia uzależniony jest głównie od charakterystyki materiału oraz od oporów tarcia. Mogą zatem występować przypadki, że materiał posiadający dobrą plastyczność, ale źle przygotowany do ciągnienia (występowanie na powierzchni resztek zgorzeliny, nieodpowiednia jakość powłoki podsmarowej,

niska jakość smaru, czy też zły stan ciągadła), może być przyczyną trudności w realizacji procesu ciągnienia bez zakłóceń. Może być również sytuacja odwrotna, tzn. materiał posiadający niską plastyczność, ale bardzo dobrze przygotowany do ciągnienia, może dać się ciągnąć bez kłopotów. Prawidłowa ocena przyczyn trudności w prawidłowym przebiegu procesu ciągnienia jest bardzo trudna. Trudno się również spodziewać jednomyślności w ocenie omawianych zagadnień przez dostawcę wsadu i wytwórcę ciągnionego drutu. Zwykle zainteresowane strony starają się udowodnić winę drugiej strony.

W ostatnich latach są prowadzone intensywne badania naprężeń własnych w drucie po ciągnieniu. Uzyskane wyniki badań winny być wykorzystane przy uściślaniu dopuszczalnych stopni odkształcenia w jednym ciągu. Odnośnie innych parametrów można się spodziewać, że w miarę wzrostu stanu wiedzy będzie można również uściślać wpływ omówionych czynników na dopuszczalne stopnie odkształcenia.

Przedstawiony pogląd traktuję jako bazę wyjściową do szerszej dyskusji.

4. WNIOSKI

W oparciu o przedstawione rozważania można sformułować następujące wnioski:

1. Dopuszczalny stopień odkształcenia przy ciągnieniu winien być uzależniony od następujących zasadniczych czynników: współczynnika tarcia, oporu plastycznego, stanu warstwy wierzchniej, kształtu otworu roboczego ciągadła, własności plastycznych ciągnionego materiału w skali makro, niejednorodności materiału ciągnionego, prędkości ciągnienia, możliwych zmian prędkości ciągnienia, modułu umocnienia.

2. Ocena przydatności materiału do ciągnienia winna przede wszystkim obejmować: ocenę własności materiału ciągnionego w oparciu (np.) o próbę rozciągania, skręcania, spęczania, czy też próbę udarności, ocenę stanu warstwy wierzchniej oraz ocenę współczynnika tarcia.

LITERATURA

[1] Schneider M.: Ciągarstwo. WGH, Katowice 1960.
[2] Steininger Z.: Ciągnienie drutów stalowych. Wyd. Śląsk, Katowice 1975.

ОЦЕНКА ПРИГОДНОСТИ МАТЕРИАЛА ДЛЯ ПРОЦЕССА ВОЛОЧЕНИЯ ПРОВОЛОКИ

Р е з ю м е

В статье установлено, что допустимая степень деформации во время волочения зависит от следующих факторов: коэффициента трения, сопротивления пластической деформации, состояния проверхностного слоя, формы рабочего отверстия волока, пластических свойств волоченного материала, скорости волочения возможного изменения скорости волочения и модули закрепления.

Оценка пригодности материала для волочения должна прежде всего охватывать, оценку свойств волоченного материала опираясь на сипытании растяжения скручивания, или тоже пробу ударяемости, оценке состояния поверхноотного слоя, а также оценку коэффициента трения.

THE METHOD OF MATERIAL ESTIMATION IN THE WIRE DRAWING PROCESS

S u m m a r y

The paper has proved that the allowable degree of deformation in drawing should be defined depending on the following factors: the coefficient of friction, the corfficient of plastic deformation resistance, the state of superficial layer, the drawing die working hole shape, the macro scale plastic properties of the drawn materials, the heterogeniety of the drawn material, the drawing speed, the possible drawing speed changes, the modulus of strain hardening.

The estimation of usability of material for drawing should, above all, comprise: the estimation of the drawn material properties basing on the tensile test, the torsion test, or, the impact test, the estimation of the superficial layer state, and the estimation of the coefficient of friction.