



Streszczenie tekstu: artykuł William Roberts

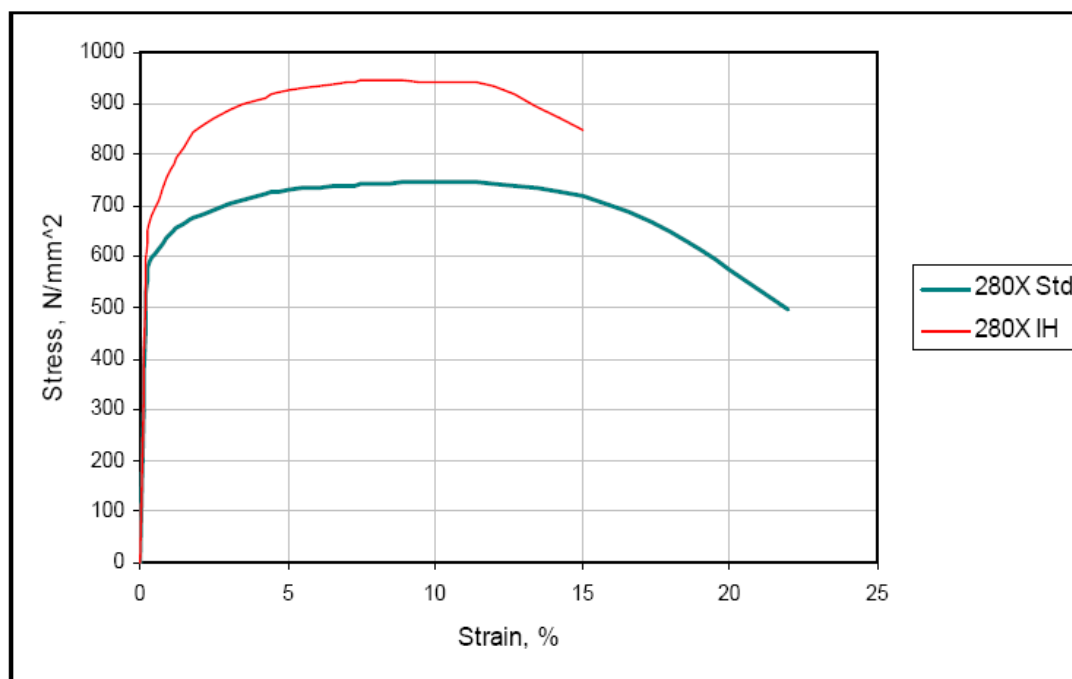
## Zwiększona odporność na wyboczenia tłoczyska poprzez hartowanie indukcyjne.

### Podsumowanie

Hartowanie indukcyjne z cylindra hydraulicznego wzbudza tłoczyska nie tylko ochronę przed zniszczeniem ze względu na czynniki zewnętrzne, ale także poprawia właściwości mechaniczne, a w szczególności odporność na wyboczenia w warunkach pracy na ściskanie. Ten wzrost odporności na wyboczenia można wytłumaczyć tym, iż pręt hartowany można traktować jako materiał kompozytowy składający się z rury ze stali hartowanej i stalowego rdzenia. W konsekwencji, w odniesieniu do niehartowanego pręta z tej samej stali bazowej i tej samej średnicy, pręty hartowane indukcyjnie mogą być zastosowane o zmniejszonej średnicy co prowadzi do korzyści w postaci zmniejszenia masy i obniżenia kosztów.

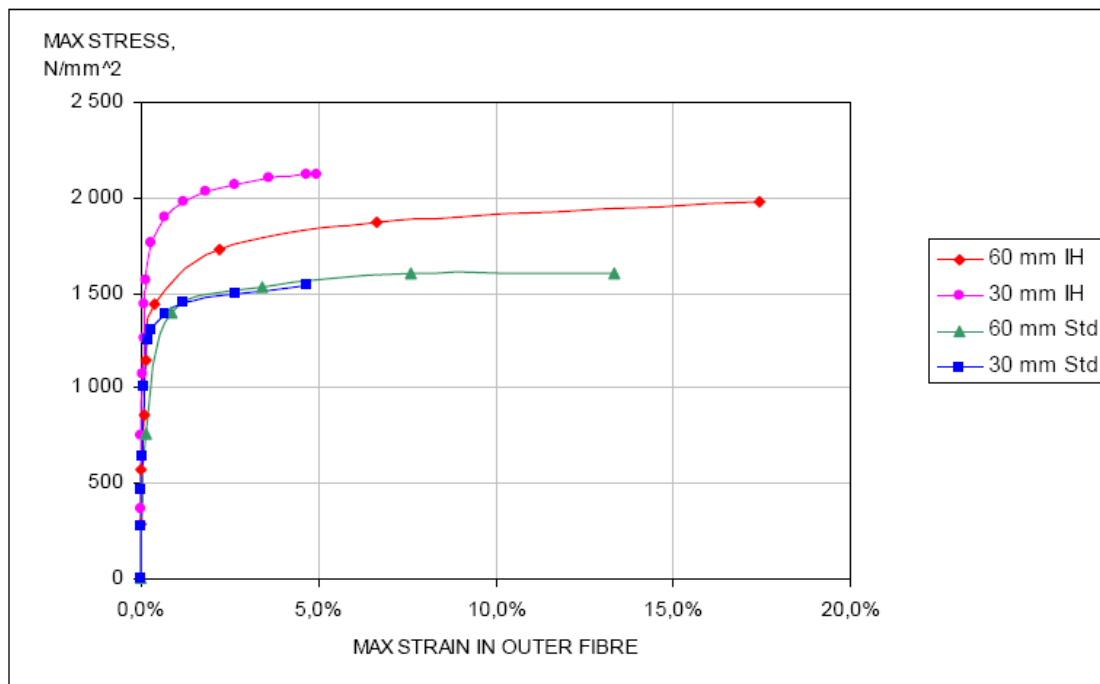
Pręty hartowane indukcyjnie, gdzie istnieją zagrożenia na uszkodzenie poprzez przypadkowe uderzenia stosuje się w siłownikach hydraulicznych koparek i ładowarek, a także przy siłownikach skrętu. Dodatkową zaletą oferowanych prętów hartowanych indukcyjnie jest zwiększona odporność na przypadkowe uszkodzenia podczas ich transportu.

Hartowanie indukcyjne także zmienia właściwości mechaniczne stali, fakt, który zwykle nie jest uznawany przez inżynierów zaangażowanych w projektowanie i wymiarowanie cylindrów hydraulicznych. Prosty przykład takich zmian jest widoczny na rys.1. Krzywe rozciągania pokazują znaczne różnice pręta hartowanego i niehartowanego (materiał bazowy Cromax 280x). Krzywa dotycząca pręta hartowanego indukcyjnie charakteryzuje się wzrostem wytrzymałości na rozciąganie i tym samym wyższymi parametrami podatności na odkształcenia. Wartość wydłużenia jest nieznacznie niższa w porównaniu z materiałem pręta nie utwardzonego. Efekty tych zmian mogą być dowolnie dobierane za pomocą prostego prawa mieszanki na bazie różnych właściwości stali bazowej.



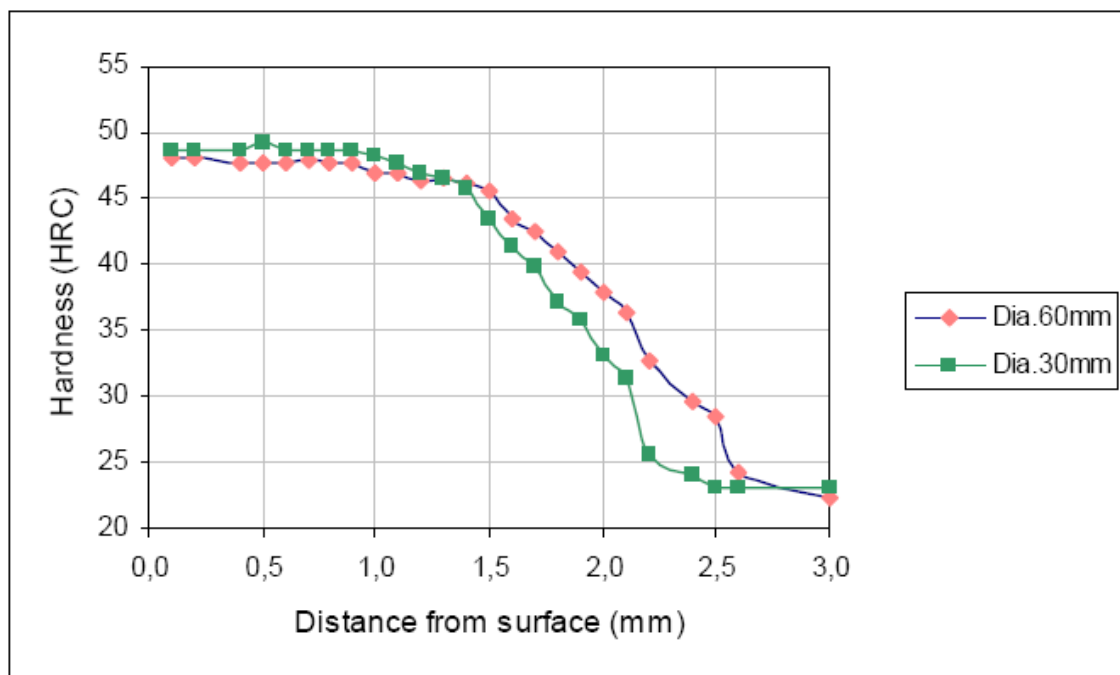
Rys. 1. Krzywe naprężenie-odkształcenie pręta indukcyjnie hartowanego i niehartowanego (materiał Cromax 280x, średnica 30mm)

Kolejnym znaczącym przykładem wpływu hartowania indukcyjnego na mechaniczne cechy tłoczyska jest wytrzymałość na zginanie. Na rysunku. 2, pokazano krzywe odwzorowujące odkształcenie dla prętów chromowanych hartowanych i niehartowanych dla dwóch różnych średnic, 30 i 60 mm (dla stali bazowej Cromax 280x).



Rys. 2. Krzywe naprężenie-odkształcenie prętów hartowanych i niehartowanych chromowanych poddanych zginaniu (materiał bazowy Cromax 280x).

Przy zginaniu, maksymalne naprężenia gnące występują w zewnętrznej warstwie włókien i dlatego logiczne jest, że odporność na odkształcenia przy zginaniu w przypadku prętów hartowanych znacznie się poprawiła. Ponadto, wytrzymałość na zginanie pręta o średnicy 30 mm jest większa niż dla pręta o średnicy 60 mm. Dzieje się tak, dlatego że strefa materiału utwardzonego zajmuje procentowo większą część średnicy niż w przypadku pręta o średnicy 60 mm. (rozkład strefy utwardzonej poprzez hartowanie indukcyjne dla prętów o średnicach 30 i 60 mm pokazane są na rys. 3.). Należy również zauważyć, że krzywe odkształcenia przy zginaniu dla prętów niehartowanych są praktycznie niezależne od wymiaru średnicy (rys. 2.).



Rys.3. Rozkład twardości w strefie utwardzonej dla prętów chromowanych hartowanych indukcyjnie dla średnic 30 i 60 mm (materiał stali Cromax 280x).

### Hartowanie indukcyjne zwiększa również odporność na wyboczenia.

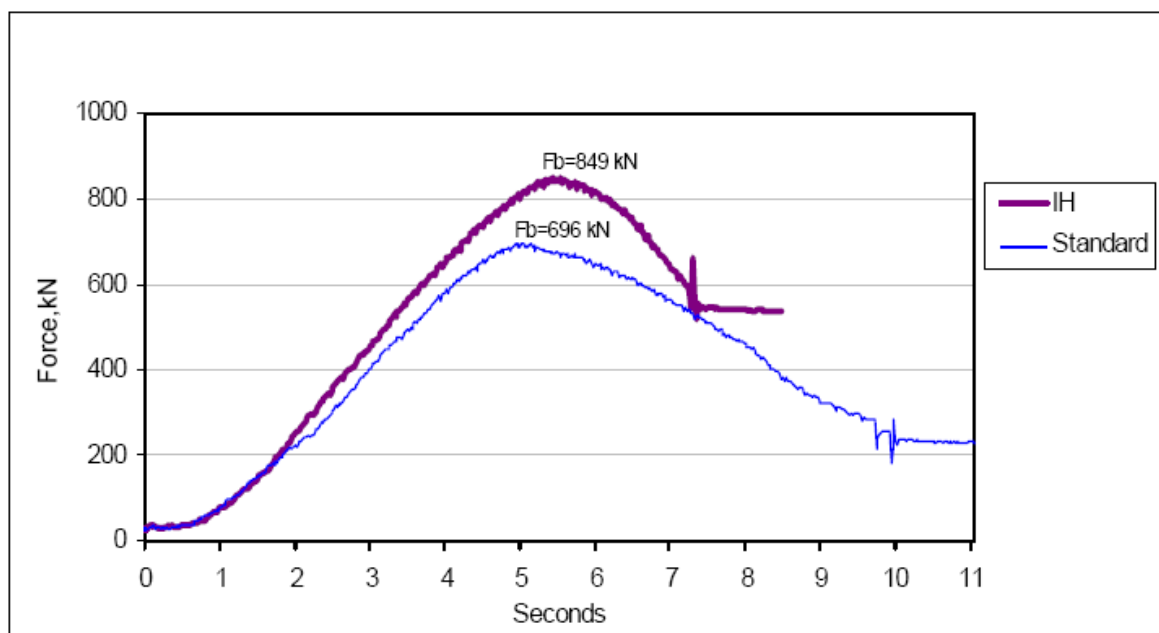
Na zjawisko wyboczenia ma zasadniczy wpływ udział naprężeń gnących wywołanych osiowym ściskaniem. Stosowne jest zatem zbadać, czy wyraźny wpływ jaki ma hartowanie indukcyjne przy wytrzymałości na zginania, jak pokazano na rys. 2., znajduje odzwierciedlenie w podobnej poprawie odporności na

wyboczenie.

Porównaniu poddano na odporność na wyboczenie pręty chromowane hartowane i niehartowane (materiał bazowy Cromax 280x) o różnych średnicach i długościach. Badanie przeprowadzono w oprzyrządowaniu prasy hydraulicznej, która została dostosowana do przeprowadzenia testu.

Dane monitorowane były w postaci krzywej siła-czas.

Dwie takie krzywe prętów utwardzonych i nieutwardzonych o średnicy  $D=44,45$  i długości  $L=650$  mm (parametr smukłości  $\lambda=4L/D=58,5$ ) zostały przedstawione na rys 4.



Rys. 4. Porównanie siły krzywych w czasie badania na wyboczenie chromowanych niehartowanych i hartowanych indukcyjnie prętów (materiał bazowy Cromax 280x).

Wyboczenia występuje na szczycie krzywej siła-czas. Na wykresie widać, że siła użyta do wyboczenia utwardzonego pręta jest o 22% większa niż w przypadku standardowego pręta.

Testując utwardzone i niehartowane pręty o różnych średnicach i długościach, wyboczenia zostały ustalone dla szeregu parametrów smukłości od 50 do 150 dla prętów o średnicach 30 i 44,45 mm.

W wyniku przeprowadzonych testów stwierdzono, że naprężenia na wyboczenie zwiększają się w wyniku hartowania indukcyjnego w całym zakresie badanych parametrów smukłości. Poprawa zwiększonych naprężeń krytycznych przy których następuje wyboczenie przez hartowanie indukcyjne wzrosła o 20 % dla  $\lambda=50$ , o 30% dla  $\lambda=100$  i 60% dla  $\lambda=150$ .

Innymi słowy wydaje się że hartowanie indukcyjne poprawia odporność na wyboczenie przy wysokiej wartości  $\lambda$  poprzez uelastycznienie układu pracy siłownika.

Testy wyraźnie pokazały, że hartowanie indukcyjne tłoczek nie tylko poprawia odporność na wpływy czynników zewnętrznych, ale także właściwości mechaniczne pręta. W szczególności wzrosła odporność na wystąpienie awarii poprzez wyboczenie. To oznacza, że hartowane indukcyjnie pręty mogą mieć znacznie zmniejszoną średnicę w stosunku do standardowego przy jednoczesnym zachowaniu dopuszczalnego współczynnika bezpieczeństwa.

Dowodem na to są następujące przykłady:

#### Przykład 1.

Cylinder o średnicy  $\phi 100$  i maksymalnym ciśnieniu roboczym 260 bar.

- pręt niehartowany o **średnicy 50 mm** i długości 1 000 mm ( $\lambda = 80$ ) w stali 280x (min. gr. plastyczności 520 N/mm<sup>2</sup>). Naprężenia krytyczne wyboczeniowe wyniosły 262 N/mm<sup>2</sup>. Maksymalne naprężenia dla pręta 104 N/mm<sup>2</sup>. Współczynnik bezpieczeństwa na wyboczenie wyniósł 2,52.

- dla pręta hartowanego indukcyjnie, o **średnicy 45 mm** i długości 1 000 mm ( $\lambda = 88,9$ ) dla tego samego materiału bazowego naprężenia krytyczne wyboczeniowe wyniosły 353 N/mm<sup>2</sup>. Maksymalne naprężenia dla pręta wyniosły 128 N/mm<sup>2</sup>, a współczynnik bezpieczeństwa na wyboczenie wyniósł 2.76.

Innymi słowy, mniejsza średnica pręta hartowanego indukcyjnie faktycznie oferuje większy margines bezpieczeństwa na wypadek wyboczenia.

#### Przykład 2.

Cylinder z otworem  $\phi 80$  i maksymalnym ciśnieniu roboczym 140 bar.

- pręt niehartowane, **o średnicy 40 mm** i długości 1 500 mm ( $\lambda = 150$ ), Naprężenia krytyczne wyboczeniowe wyniosły 85 N/mm<sup>2</sup>. Maksymalne naprężenia dla pręta 56 N/mm<sup>2</sup>. Współczynnik bezpieczeństwa wynosi 1,52.
- pręt hartowany indukcyjnie pręt **o średnicy 35 mm** i długości 1 500 mm ( $\lambda = 171,4$ ). Naprężenia krytyczne wyboczeniowe wyniosły 117 N/mm<sup>2</sup>. Maksymalne naprężenia dla pręta wynoszą 73 N/mm<sup>2</sup>, co daje współczynnik bezpieczeństwa 1.60.

Oszczędność masy uzyskuje się poprzez zastąpienie pręta standardowego prętem hartowanym indukcyjnie jak widać na powyższych przykładach odpowiednio 19% i 23%. Kolejną zaletą wynikającą z możliwości obniżenia średnicy pręta tłoczyska jest fakt uzyskania większej siły ciągnącej ze względu na zwiększenie powierzchni tłoka od strony dławnicowej.

Oryginalny tekst na stronie OVACO

William Roberts

2007-01-15