



(12) CERERE DE BREVET DE INVENȚIE

(21) Nr. cerere: a 2010 00783

(22) Data de depozit: 02.09.2010

(41) Data publicării cererii:  
30.05.2012 BOPI nr. 5/2012

(71) Solicitant:  
• UNIVERSITATEA TEHNICĂ  
"GHEORGHE ASACHI" DIN IAȘI,  
BD.PROF.D.MANGERON NR. 67, IAȘI, IS,  
RO

(72) Inventatori:  
• GOANȚĂ VIOREL, STR.SUCIDAVA NR.5,  
BL.259A, ET.5, AP.18, IAȘI, IS, RO

(54) PROCEDU PENTRU EVALUAREA NIVELULUI  
DEFORMĂȚIEI PLASTICE UTILIZÂND ÎNCERCAREA DE  
DURITATE

(57) Rezumat:

Invenția se referă la un procedeu pentru determinarea duratei de viață a pieselor care intră în componența echipamentelor care lucrează în condiții de solicitări dinamice ridicate și/sau temperatură, cum ar fi industria chimică și petrochimică, procedeu bazându-se pe evaluarea nivelului deformației plastice, utilizând încercarea la duritate. Procedeu conform invenției constă în determinarea, cu ajutorul unor aparate portabile, durității unor piese sau componente care au funcționat în condiții de exploatare un anumit număr de ore, pe baza valorilor acestor durități HV, determinate în zonele cu posibilitatea cea mai mare de deformare plastică, se poate determina aria  $A_p$  din relația stabilită în laborator, pe baza încercărilor la tracțiune și a celor de duritate pe un număr cât mai mare de epruvete, pentru oțeluri relația fiind de forma:  $A_p = A (HV)^3 + B (HV)^2 + C (HV) + D$ , în care coeficienții A, B, C și D sunt determinați pe baze experimentale, pe baza tensiunilor aplicate asupra probelor în procesele de deformare plastică, iar în final se încadrează această valoare a deformației plastice în zona corespunzătoare de pe curba caracteristică, determinându-se durata de viață rămasă pentru respectiva componentă.

Revendicări: 1  
Figuri: 6

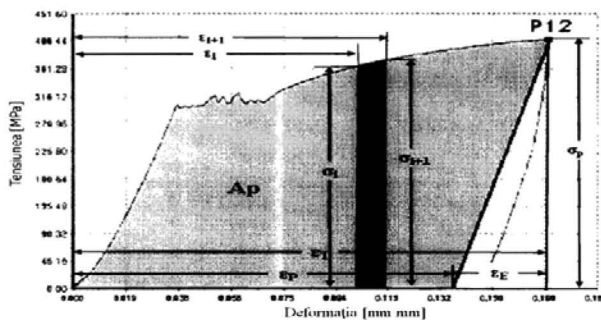
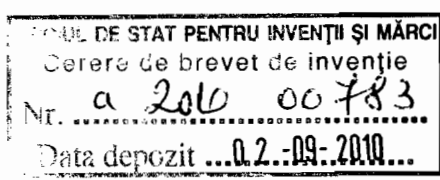


Fig. 4

Cu începere de la data publicării cererii de brevet, cererea asigură, în mod provizoriu, solicitantului, protecția conferită potrivit dispozițiilor art.32 din Legea nr.64/1991, cu excepția cazurilor în care cererea de brevet de invenție a fost respinsă, retrasă sau considerată ca fiind retrasă. Întinderea protecției conferite de cererea de brevet de invenție este determinată de revendicările conținute în cererea publicată în conformitate cu art.23 alin.(1) - (3).





**Procedeu pentru evaluarea nivelului deformației plastice utilizând încercarea de duritate**

Invenția se poate utiliza în industria chimică și petro-chimică precum și în cazul oricăror echipamente mecanice ce lucrează la solicitări dinamice și/sau sub temperatură, acolo unde este necesară determinarea duratei de viață a respectivelor echipamente aflate în exploatare.

Sunt cunoscute relații de calcul ce stabilesc corelații între valoarea durității și limita de curgere sau rezistența la rupere pentru materiale care nu au lucrat în condiții de exploatare [1]. Aceste corelații se stabilesc pe cale experimentală rezultând relații empirice în funcție de clasa de materiale pe care s-au efectuat determinările. Relațiile obținute se bazează pe încercările de duritate efectuate pe materialul nesolicitat anterior și pe încercarea de tracțiune efectuată până la rupere pe baza căreia se pun în evidență limita de curgere și rezistența la rupere. Sunt cunoscute de asemenea studii efectuate de diverși cercetători privind influența numărului de cicluri de solicitare asupra duratei de viață a componentelor în funcționare. În același context sunt trasate grafice de variație a durității în raport cu deformația zonală  $\epsilon$  sau cu numărul de cicluri de solicitare [2]. Se cunosc studii efectuate pe baza determinării durității pentru a evidenția variațiile caracteristicilor în materialul cordonului de sudură și în zona de material influențată termic [3]. Tot încercările de duritate se utilizează pentru a determina variații ale acestora în zonele deformate plastic și întărite ca urmare a contactului dintre diverse suprafețe [4]. Mai sunt cunoscute studii privitoare la influența parametrilor tehnologici de fabricare sau a parametrilor tehnologici privind procesele de acoperire asupra valorilor durității [5].

Invenția de față rezolvă problema expertizării stării unei componente, piese, etc. ce lucrează în anumite condiții de exploatare ce fac posibilă apariția de deformații plastice semnificative. Determinarea din timp a nivelului deformațiilor plastice acumulate în componenta aflată în exploatare pot conduce la evitarea producerii de accidente catastrofale. Prin procedeul propus aici se poate determina durata de viață rămasă pentru exploatare și se poate lua decizia funcționării în continuare, monitorizării atente sau înlocuirii componentei studiate.

Invenția de față prezintă un **procedeu experimental și analitic** privind stabilirea unei corelații între valoarea durității și gradul de deformație plastică. Această corelație se stabilește pe baza încercărilor efectuate în laborator asupra unor epruvete solicitate la tracțiune până la diverse sarcini de solicitare, peste limita de curgere, pe suprafața acestor epruvete făcându-se și încercări de duritate. Pe componentele care lucrează în exploatare și la care este posibilă apariția deformațiilor plastice se determină duritatea în zonele

cele mai solicitate și, pe baza corelației amintite mai sus, se determină nivelul deformației plastice în acele zone ce reprezintă un indiciu asupra duratei de viață rămasă pentru exploatarea respectivelor componente. Dacă valoarea durității în zona cea mai solicitată indică o deformație plastică semnificativă se poate lua decizia înlocuirii componentei.

Invenția se aplică în cazul realizării de expertize tehnice ale componentelor sau utilajelor ce lucrează în exploatare atunci când se dorește determinarea duratei de viață a acestora și prin urmare să se analizeze posibilitatea ca aceste componente să lucreze în continuare sau nu. O asemenea expertiză este rapidă și nu foarte costisitoare și implică încercări de duritate cu aparate portabile în zone cu posibilitatea cea mai mare de deformare plastică. Este evident faptul că trebuie cunoscută anterior legea de variație dintre duritate și aria de sub curba caracteristică corespunzătoare deformației plastice remanente care se obține așa cum a fost descris în paragraful anterior.

Procedeele conform invenției prezintă următoarele avantaje:

- pe baza unei proceduri simple, deloc costisitoare, se poate determina, cu ajutorul unor aparate portabile, duritatea unor piese, componente, etc., ce au funcționat în condiții de exploatare un anumit număr de ore;
- valoarea durității determinată in-situ va conduce, având în vedere corelația stabilită în laborator, la determinarea gradului de deformare plastică suferit de respectiva componentă;
- încadrând deformația plastică într-o zonă corespunzătoare de pe curba caracteristică, se poate determina durata de viață rămasă pentru respectiva componentă ce va lucra în aceleași condiții;
- în funcție de stadiul deformației plastice remanente din zona cea mai solicitată se poate lua decizia ca piesa, componenta, etc. verificată, să fie înlocuită pentru a nu se ajunge la distrugerii catastrofale.

Dezavantajele studiilor prezentate în cadrul stadiului actual al tehnicii este acela că, de la relațiile empirice stabilite pe această cale, nu se pot face extrapolări în ceea ce privește estimarea duratei de viață a unei componente aflate deja în exploatare.

Se dă în continuare un exemplu de realizare a invenției conform figurilor:

- în figura 1 este prezentată forma epruvetei plate de tracțiune, conform SREN 10002:1996, pe suprafața căreia se vor efectua și încercări de duritate, după tracțiune;
- figura 2 prezintă curba caracteristică pentru epruveta din oțelul X20CrMoV121 solicitată la tracțiune până la rupere;
- figura 3 prezintă curba caracteristică pentru epruveta din oțelul OL-45 solicitată la tracțiune până la rupere;
- în figura 4 este prezentat un exemplu de determinare a ariei  $A_p$  corespunzătoare deformației plastice pentru o epruvetă din OL-45 solicitată dincolo de limita de curgere;
- figurile 5 și 6 prezintă variația ariei  $A_p$  în raport cu duritatea HV pentru cele două materiale utilizate.

În continuare se prezintă un exemplu de determinare a corelației duritate-aria corespunzătoare deformației plastice remanente. Din două oțeluri diferite, respectiv X20CrMoV121 și OL-45, s-au confecționat probe plate standardizate pentru încercarea de tracțiune, *figura 1*. Curbele caracteristice tensiune-deformație obținute pentru cele două materiale prin încercarea la tracțiune, și furnizate de mașina de încercat, sunt prezentate în *figurile 2 și 3* de unde se poate observa caracterul tenace al celor două materiale, cu un pronunțat palier de curgere pentru OL-45. Se menționează faptul că încercarea se face în controlul deformației probei cu o viteză mică de deformare. Pentru ambele materiale s-a solicitat câte o epruvetă până la rupere, celelalte epruvete disponibile solicitându-se la tracțiune până la anumite forțe, dincolo de limita de curgere, așa cum se prezintă în *figura 4* unde se arată curba trasată de mașina de încercat pentru o probă din OL-45 solicitată în domeniul plastic până în punctul P<sub>12</sub>. Pentru oțelul X20CrMoV121 s-au solicitat în condițiile de mai sus un număr de 6 epruvete iar pentru OL-45 s-au încercat un număr de 22 de epruvete. În *figura 4* aria A<sub>p</sub> de sub curba caracteristică este corespunzătoare deformației plastice ε<sub>p</sub>, remanente în probă după îndepărtarea solicitării. Din *figura 4* rezultă faptul că aria A<sub>p</sub> se poate calcula cu ușurință pe baza relației:

$$A_{p_j} = \sum_i \left( \frac{(\sigma_{i+1} + \sigma_i) \cdot (\varepsilon_{i+1} - \varepsilon_i)}{2} - \frac{\sigma_p \cdot \varepsilon_E}{2} \right) \quad (1)$$

în care mărimile prezente în relația (1) se iau din șirurile de date furnizate pe baza achiziției de date de la mașina de încercat:

- σ<sub>i</sub> și σ<sub>i+1</sub> sunt tensiunile în punctul i, respectiv i+1 și reprezintă baza mică respectiv baza mare a trapezului din *figura 4*;
- ε<sub>i</sub> și ε<sub>i+1</sub> sunt deformațiile din punctul i respectiv i+1 iar (ε<sub>i+1</sub> - ε<sub>i</sub>) reprezintă înălțimea trapezului din *figura 4*;
- σ<sub>p</sub> este tensiunea corespunzătoare punctului din domeniul plastic în care s-a oprit încercarea;
- ε<sub>E</sub> este deformația elastică ce dispare odată cu încetarea solicitării.

Se remarcă faptul că, dacă există un fișier de date ce conține valorile pentru mărimile de mai sus, se poate calcula aria A<sub>p</sub> corespunzătoare oricărui punct i de pe curba caracteristică trasată până la rupere. Pentru fiecare probă, solicitată la tracțiune ca mai sus și pentru care s-a determinat aria A<sub>p</sub>, s-au efectuat și determinări ale durității Vickers. Se menționează faptul că pentru probele la care nu a apărut gătuirea încercările de duritate s-au efectuat aproximativ la mijlocul probei (pe lungime). La probele la care a apărut gătuirea, încercările de duritate s-au efectuat în zona puternic deformat plastic. Pe fiecare probă s-au efectuat câte 18 încercări de duritate (9 încercări pe câte 2 rânduri pe lățimea probei) reținându-se valoarea medie a 16 încercări (s-au eliminat valorile maximă și minimă). Fiecărei din valorile durității Vickers (HV) i se atașează aria A<sub>p</sub> corespunzătoare. Utilizând aceste date se trasează graficele din *figurile 5 și 6* ce reprezintă variația ariei corespunzătoare deformației plastice remanente în raport cu valoarea durității Vickers

determinată pe proba astfel deformată. Din examinarea celor două grafice se constată următoarele:

- graficele trasate pentru oțeluri diferite (X20CrMoV121 și OL-45) au alură asemănătoare;
- pentru ambele grafice se poate deduce o lege de variație (corelație) asemănătoare (de tip polinomial) între aria corespunzătoare deformației plastice remanente și duritatea Vickers determinată pe proba solicitată în domeniul plastic;
- la ambele grafice se stabilește un palier în vecinătatea zonei de curgere și are loc o creștere pronunțată pentru probele solicitate cu mult pe aceasta limită;
- se constată că duritatea are valori din ce în ce mai mari pentru probele puternic deformat plastic;

Se poate spune că valorile durității sunt proporționale cu nivelul deformației plastice acumulate în proba supusă solicitării. Pentru materialele de mai sus, și în general pentru oțel, se poate determina o relație între gradul de deformare plastică și mărimea durității Vickers, de forma:

$$A_p = A (HV)^3 + B (HV)^2 + C (HV) + D \quad (2)$$

în care coeficienții A, B, C și D pot fi determinați pe baze experimentale ca în descrierea de mai sus. Pe baza celor prezentate, procedeul ce trebuie urmat pentru determinarea corelației dintre duritatea Vickers și aria corespunzătoare deformației plastice, și pe această bază, a duratei de viață rămase pentru o componentă ce lucrează în anumite condiții de exploatare, poate fi rezumat astfel:

1. Pentru materialul din care este confecționată piesa, componenta, etc. aflată în exploatare, se trasează la tracțiune până la rupere, curba caracteristică tensiune-deformație, cu viteză mică de deformație și pe mașină de încercat cu posibilitatea achiziției datelor privitoare la tensiune și deformație;
2. Analizând curba caracteristică se vor încerca la tracțiune cât mai multe probe din același material, până în puncte dincolo de limita de curgere;
3. Cu ajutorul unui program de calcul simplu, utilizând fișierele de date și relația (1), se va calcula aria  $A_p$  pentru fiecare probă în parte;
4. Pe probele astfel solicitate (dincolo de limita de curgere) se vor face încercări de duritate (Vickers). Dacă proba a suferit gătuire încercările de duritate se vor face în respectiva zonă puternic deformată plastic;
5. Se trasează graficul de variație  $A_p$ -HV și se stabilește legea de variație (corelația) care pentru oțeluri poate fi de forma dată de relația (2);
6. Pentru componenta aflată în exploatare (rezervor, conductă, braț macara, etc.) se poate face o analiză cu elemente finite în vederea determinării zonei celei mai solicitate, dacă aceasta nu este cunoscută anterior sau dacă nu se intuiește;
7. În zona de maximă solicitare determinată la punctul 6 se fac determinări ale durității Vickers HV, cu ajutorul aparatelor portabile;

8. Pe baza valorilor durității determinate la punctul 7 și a legii de variație  $A_p$ -HV, dată de o relație de tipul relației (2), se determină aria  $A_{p_j}$ ;
9. Cu ajutorul fișierelor de date existente se identifică **punctul j**, de pe curba caracteristică trasată până la rupere, căruia îi corespunde aria  $A_{p_j}$ ;
10. Pe baza exemplului din *figura 3* ne putem găsi în una din cele trei situații:
  - **punctul j** de pe curba caracteristică se află în dreptul zonei A. În aceste condiții, componenta aflată în exploatare mai poate funcționa în continuare fără probleme;
  - dacă **punctul j** se află pe curba caracteristică în dreptul zonei B, funcționarea în continuare a componentei trebuie urmărită cu atenție;
  - dacă **punctul j** se află pe curba caracteristică în dreptul zonei C, respectiva componentă trebuie înlocuită imediat.

Ca urmare, utilizând procedeul descris mai sus se poate determina durata de viață rămasă pentru anumite componente care au fost solicitate dincolo de limita elastică, pe baza încercării de duritate Vickers pe componenta aflată în exploatare.

## REVENDICĂRI

1. Procedeu experimental și analitic pentru evaluarea nivelului deformației plastice a componentelor mecanice ce lucrează la solicitări dinamice și/sau sub temperatură, după cum urmează:

- Pentru materialul din care este confecționată piesa, componenta, etc. aflată în exploatare, se trasează la tracțiune până la rupere pe epruveta din figura 1, curba caracteristică tensiune-deformație, figurile 2 și 3, cu viteză mică de deformație și pe mașină de încercat cu posibilitatea achiziției datelor privitoare la tensiune și deformație;
- Analizând curba caracteristică se vor încerca la tracțiune cât mai multe probe din același material, până în puncte dincolo de limita de curgere,  $P_1, P_2, \dots, P_{22}$ ;
- Cu ajutorul unui program de calcul simplu, utilizând fișierele de date și relația (1), se va calcula aria  $A_p$  pentru fiecare probă în parte, figura 4;
- Pe probele astfel solicitate (dincolo de limita de curgere) se vor face încercări de duritate (Vickers). Dacă proba a suferit gătuire încercările de duritate se vor face în respectiva zonă puternic deformată plastic, altfel se execută mai multe încercări pe direcție longitudinală a probei reținându-se valoarea cea mai mare;
- Se trasează graficul de variație  $A_p$ -HV, figura 5, și se stabilește legea de variație (corelația) care pentru oțeluri poate fi de forma dată de relația (2);
- Pentru componenta aflată în exploatare (rezervor, conductă, braț macara, etc.) se poate face o analiză cu elemente finite în vederea determinării zonei celei mai solicitate, dacă aceasta nu este cunoscută anterior sau dacă nu se intuiește;
- În zona de maximă solicitare determinată la punctul anterior se fac determinări ale durității Vickers HV, cu ajutorul aparatelor portabile;
- Pe baza valorilor durității determinate la punctul anterior și a legii de variație  $A_p$ -HV, dată de o relație de tipul relației (2), se determină aria  $A_{p_j}$ ;
- Cu ajutorul fișierelor de date existente se identifică **punctul j**, de pe curba caracteristică trasată până la rupere, căruia îi corespunde aria  $A_{p_j}$ ;
- Pe baza exemplului din *figura 3* ne putem găsi în una din cele trei situații:
  - **punctul j** de pe curba caracteristică se află în dreptul zonei A. În aceste condiții, componenta aflată în exploatare mai poate funcționa în continuare fără probleme;
  - dacă **punctul j** se află pe curba caracteristică în dreptul zonei B, funcționarea în continuare a componentei trebuie urmărită cu atenție;
  - dacă **punctul j** se află pe curba caracteristică în dreptul zonei C, respectiva componentă trebuie înlocuită imediat.

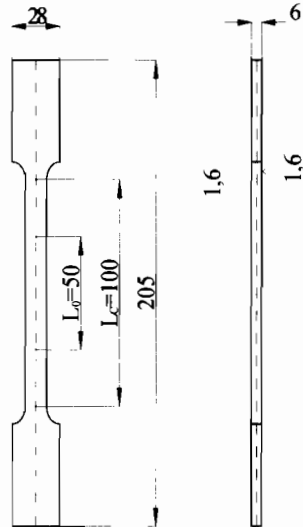


Figura 1

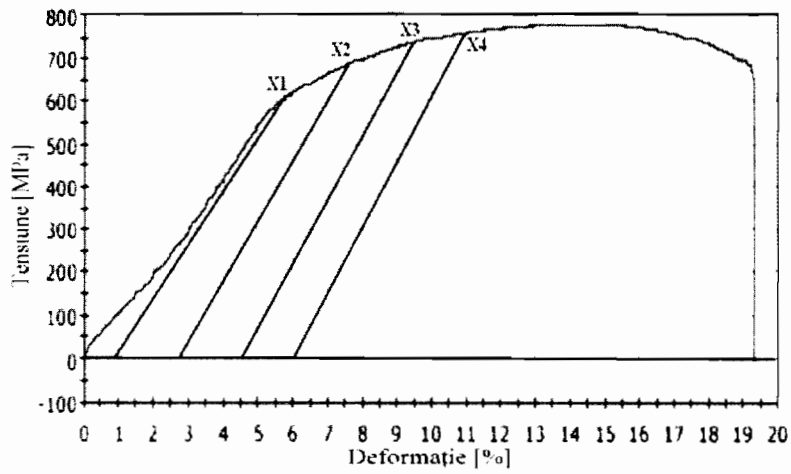


Figura 2

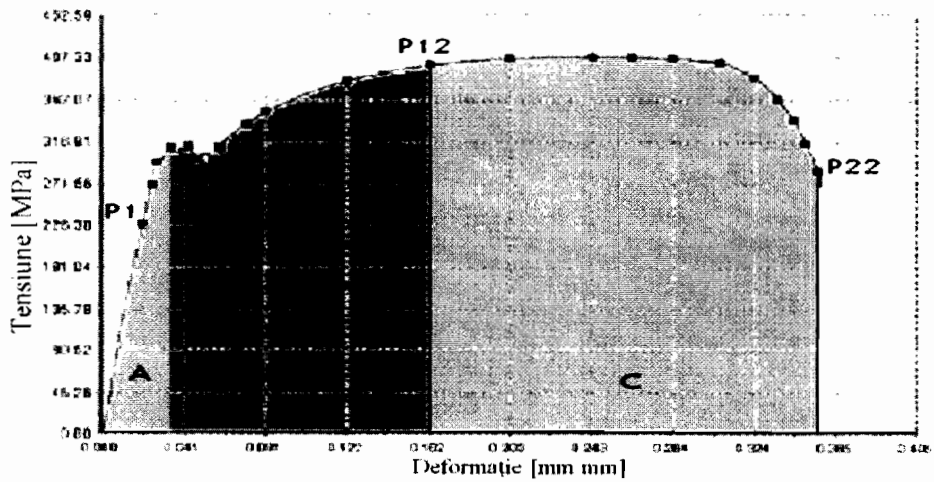


Figura 3



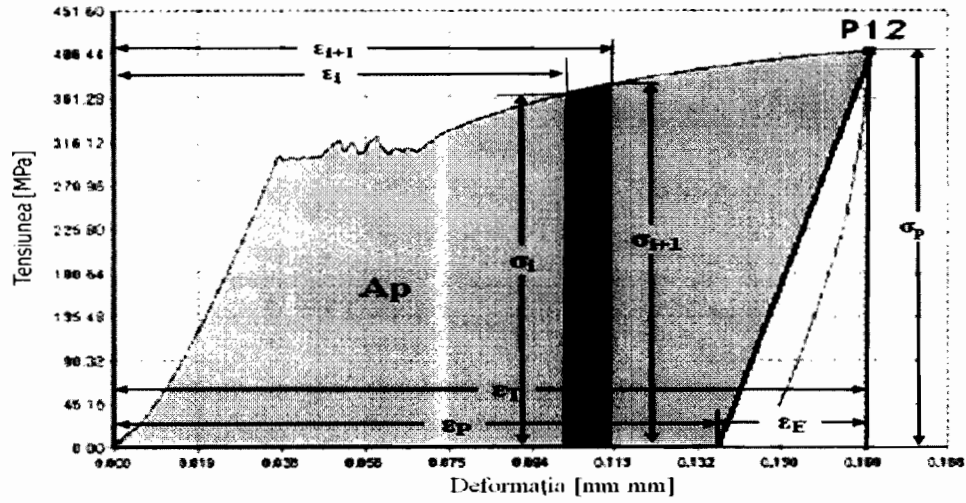


Figura 4

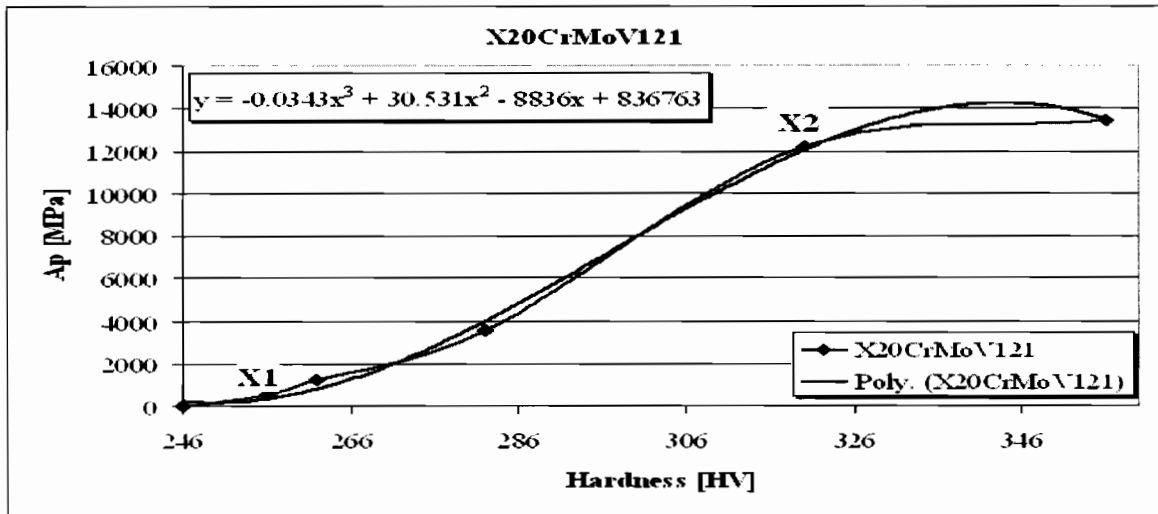


Figura 5

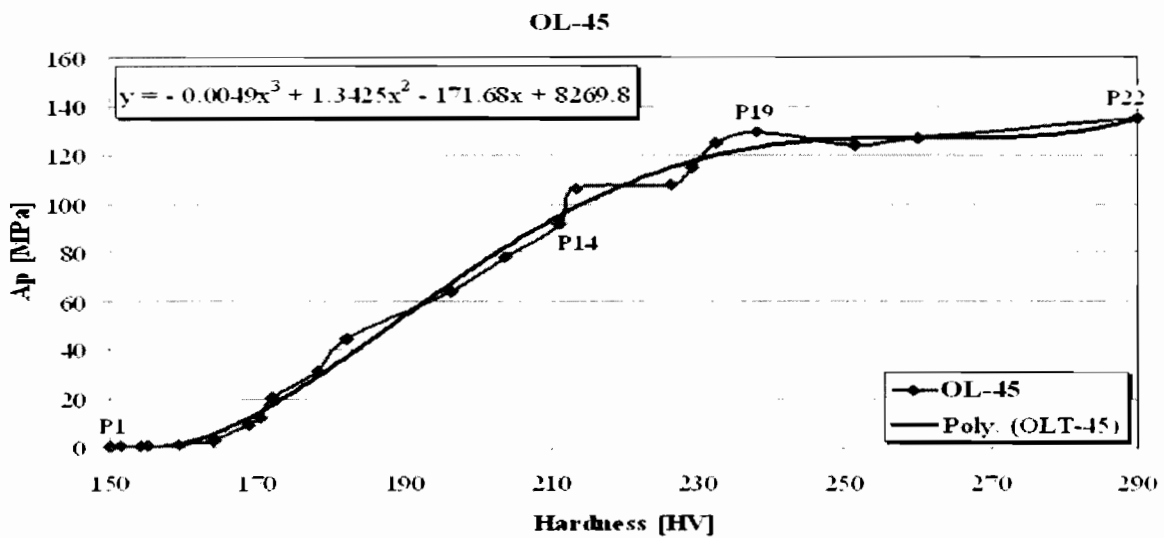


Figura 6