

Alan QUINTERO GARZA*, **Marco T. VILLARREAL GARZA***,
Heber ARIAS HERNÁNDEZ*, **Zygmunt HADUCH SUSKI***

PRZEDŁUŻENIE ŻYWOTNOŚCI NOŻY DO CIĘCIA RUR

INCREASING THE LIFETIME OF A COUPLE OF CUTTING BLADES FOR PIPE

Słowa kluczowe:

zużycie narzędzi tnących, obróbka podzerowa, powłoka PVD

Key words:

wear of, cutting blades, Cryogenic, Eroded Volume, PVD Coating

Streszczenie:

Badania mają na celu zwiększenie trwałości noży do cięcia rur. Średnia trwałość pary noży wynosi około dwie zmiany, po czym następują wykruszenia i zużycie powodujące złą jakość powierzchni cięcia i przestoje linii produkcyjnej. Obecnie noże te są wykonane ze stali D2 (1,5% C, 12% Cr, 1% V). Stal ta jest odporna na zużycie, ale krucha i niezbyt sprawdzająca się w warunkach dynamicznych procesu cięcia. Poszukując poprawy właściwości mechanicz-

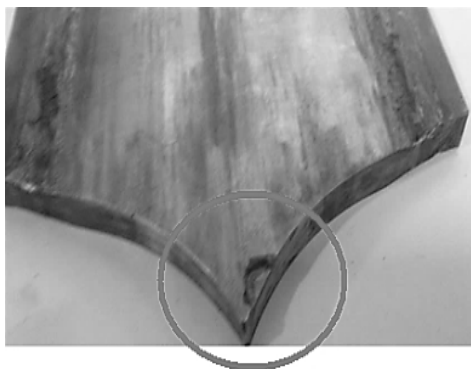
* University of Monterrey (UDEM), Engineering Department, San Pedro Garza García NL Mexico, e-mail: alan_q_g@hotmail.com, e-mail: marco_tulio_17_6@hotmail.com, e-mail: ariasheber@hotmail.com, e-mail: zygmunt.haduch@udem.edu.

nych, a w szczególności lepszej uderzalności zaproponowano obróbkę kriogeniczną (podzerową), która powinna zwiększyć odporność na ścieranie stali D2 do 10 razy, zmniejszając również jej kruchość. Obróbka podzerowa prezentuje również dobre wyniki w przypadku innych badanych materiałów (S7, H13, M2, Cr8). Dodatkowo dla zwiększenia trwałości noży zastosowano różne pokrycia PVD, które powodują wielokrotny wzrost odporności na zużycie. Badania tribologiczne zostały wykonane na maszynie T-05 (blok on ring) zaprojektowanej i wyprodukowanej w Instytucie Technologii Eksploatacji w Radomiu.

WPROWADZENIE

Firma TERNIUM wytwarza rury o różnych średnicach i grubości ścianki. Produkcja rur jest procesem ciągłym, jednak konieczne jest cięcie rur na długości pozwalające na ich transport.

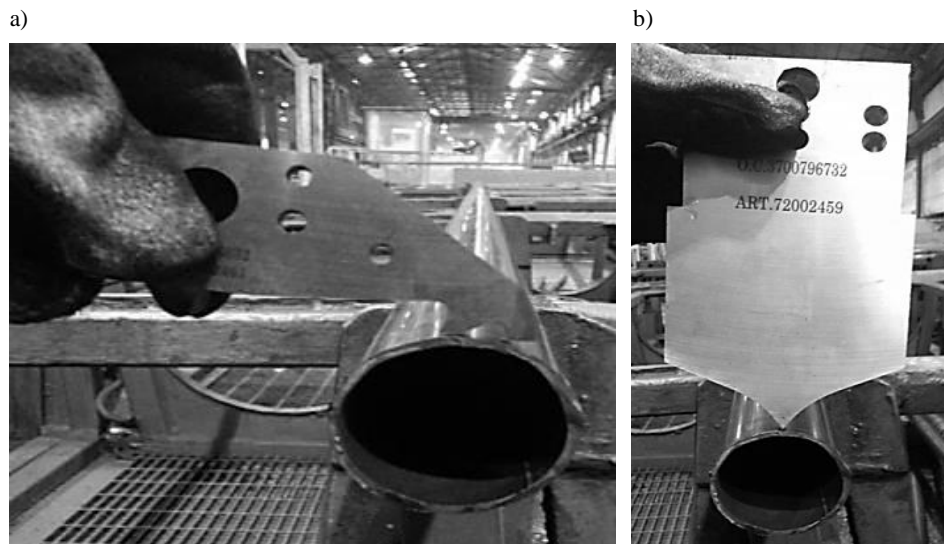
W tym procesie do cięcia używa się pary noży, które zużywają się na powierzchni tarcia i wykruszają na ostrzu tnącym z powodu dużej ilości cięć i różnorodności materiałów stosowanych na rury (**Rys. 1**). Głównym celem niniejszego projektu jest zwiększenie okresu użytkowania noży, tak aby zatrzymania linii produkcyjnej, niezbędne do wymiany zużytych noży, były nie tak częste. Miarą zwiększenia trwałości noży może być liczba uciętych rur do czasu konieczności ich wymiany.



Rys. 1 Przykład wykruszenia ostrza noża pionowego

Fig. 1. Example of vertical blade with fracture problems

W procesie cięcia rur używane są dwa noże (**Rys. 2**) montowane na mobilne urządzenie, które zakleszcza się na rurze i przesuwa wraz z nią w procesie cięcia. Aby uciąć rurę, pierwszy nóż, przesuwaną się poziomo, wykonuje nacięcie na około 25% grubości rury (**Rys. 2a**). Następnie nóż pionowy ucina rurę, zaczynając we wcześniej wykonanym nacięciu (**Rys. 2b**). Każdy nóż ma inny kształt i wymiary. Grubość noży zależy od grubości ścianki rury.



Rys. 2 a) Nóż poziomy do nacięcia rury, b) Nóż pionowy do cięcia rur

Fig. 2. a) Horizontal blade exemplifying strumming with the pipe, b) Vertical blade exemplifying cutting with the pipe

Analiza danych literaturowych [L. 2, 9, 10] mających na celu porównanie podobnych procesów w świecie pozwoliła na zaproponowanie co najmniej czterech materiałów do wykorzystania w procesie cięcia rur (S7, H13, M2, Cr8). Kilka firm stosuje pokrycia PVD, które powodują wydłużenie czasu użytkowania noży [L. 3, 4, 6]. Na bazie tych danych opracowano plan eksperymentów, które zaprezentowane są w części badań tribologicznych.

METODYKA BADAŃ

Obecny skład chemiczny materiału

Skład chemiczny noży aktualnie pracujących zestawiono w **Tabeli 1**.

Tabela 1. Skład chemiczny (% masowy) stali na noże Ternium

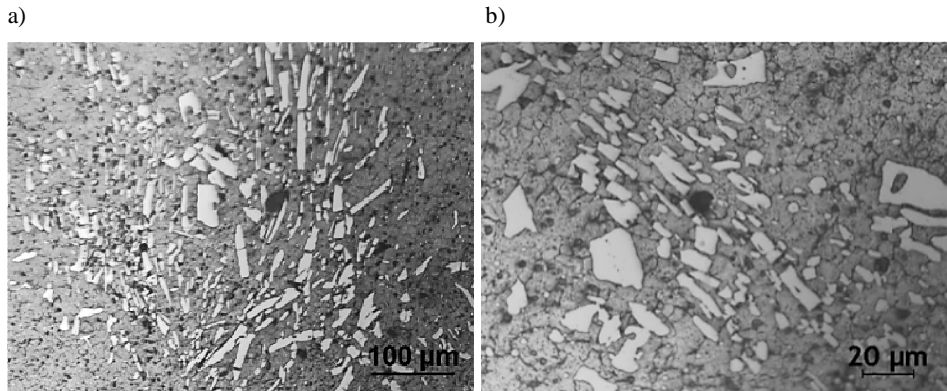
Table 1. Chemical composition of Ternium blades (% mass)

Skład chemiczny noży							
C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	V	Fe
%	%	%	%	%	%	%	%
1,4639	0,3155	0,3053	11,780	0,6948	0,2658	0,7380	84,178

Jak widać, skład chemiczny materiału noży mieści się w limitach materiału stali D2 [L. 1].

Mikrostruktura materiału noży

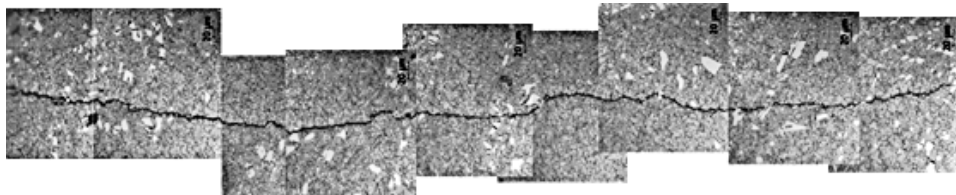
W mikrostrukturze wyróżnić można duże wydzielenia węglików chromu i mniejsze węgliki wanadu. Osnową jest odpuszczony martenzyt (**Rys. 3**).



Rys. 3. Mikrostruktura stali D2, trawione 3% nital

Fig. 3. D2 Steel Microstructure, attacked with nital 3%

Na **Rysunku 4** pokazano pęknięcie wewnątrz struktury materiału. Pęknięcie rozwija się przez granicę wydzielań węglików chromu i osnowy.



Rys. 4. Propagacja pęknięcia po granicach międzyfazowych węglik/osnowa. Trawione 3% nital

Fig. 4. Fracture propagation to the grain boundaries. Attacked with nital 3%

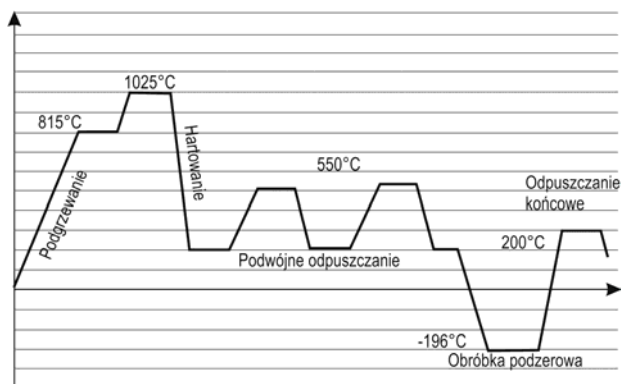
Propozycja nowych materiałów, obróbki cieplnej i powłok

Jak wspomniano powyżej, obydwa noże są ze stali D2. Zatem pierwszym zadaniem jest opracowanie procesu obróbki cieplnej polepszającej właściwości tego materiału: zmniejszenie kruchości i poprawienie odporności na zużycie. Zaproponowano zastosowanie innych rodzajów stali, które mają lepsze cechy lub lepiej zachowują się w tych specyficznych warunkach. Proponowane w ramach badań materiały to stale narzędziowe typu: M2, S7, H13 [**L. 2, 9, 10**].

Do badań włączono również stal D2 poddaną obróbce termicznej z różnymi parametrami. Dla stali D2, M2 i S7 proponuje się kompleksową obróbkę cieplną obejmującą hartowanie, podwójne odpuszczania, obróbkę podzerową

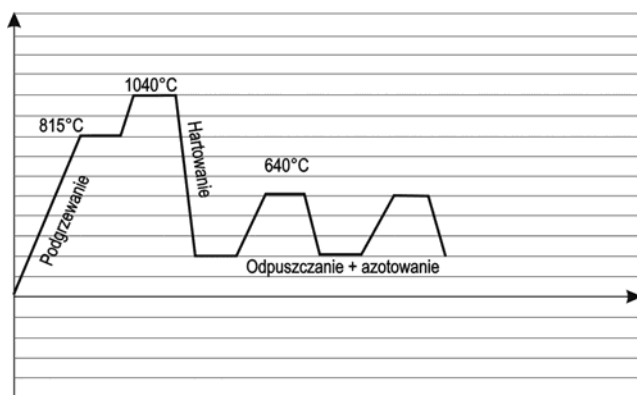
w ciekłym azocie zakończoną niskim odpuszczaniem [L. 5, 7], a dla stali H13 hartowanie, podwójne odpuszczanie i azotowanie [L. 9, 12]. Stal H13 nie reaguje dobrze na obróbkę podzerową [L. 2].

Oprócz wyżej wymienionych zabiegów były testowane różne powłoki PVD: *Futura Nano* (TiAlN) dla stali D2, M2 i S7, *Alcrona Pro* (AlCrN) dla stali D2, M2, S7 i H13 oraz *Alcrona Pro Duplex* dla stali H13 hartowanej i azotowanej [L. 5, 9]. **Rysunek 4** pokazuje proponowaną obróbkę cieplną stali D2 i na **Rysunku 5** schemat obróbki stali H13.



Rys. 5. Schemat obróbki cieplnej stali D2

Fig. 5. Proposed heat treatment for D2 steel



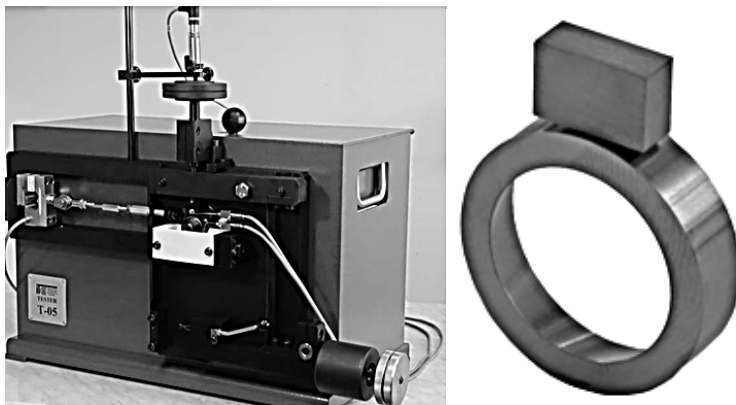
Rys. 6. Schemat obróbki cieplnej stali H13

Fig. 6. Proposed heat treatment for H13 steel

Badania tribologiczne

Ponieważ kontakt pomiędzy narzędziem tnącym a rurą rozwija się od styku liniowego do powierzchniowego, a zużycie zachodzi przez tarcie, wybrano do

badań trybologicznych tester T-05 najbliższej odpowiadający tym charakterystykom (**Rys. 7**). Urządzenie T-05 ma na celu określenie siły tarcia, obliczenie współczynnika tarcia i określenie zużycia liniowego badanej próbki, a także obliczenie ubytku objętościowego wytarcia.



Rys. 7 Maszyna T - 05 typu „Block on Ring”

Fig. 7. T-05 Machine “Block on Ring”

W tym przypadku system tribologiczny jest utworzony przez blok z materiału badanego dociskanego z obciążeniem P do pierścienia wirującego z zadaną prędkością wykonanego ze stali D2 zahartowanego i obrobionego w ciekłym azocie. W tym teście konieczne jest odzwierciedlenie warunków rzeczywistych procesu, aby można było symulować realne warunki tarcia i zużycia. Parametry badań podano w **Tabeli 2**.

Tabela 2. Parametry badań

Table 2. Parameters for tribological tests

Parametry badań	
Obciążenie	150 kg
Temperatura	Pokojowa
Czas próby	750 s
Smarowanie	Nie stosuje się
Droga tarcia	1000 m
Prędkość pierścienia	730 obr./min

Podczas eksperymentu mierzona jest siła tarcia w sposób ciągły, zużycie liniowe systemu tribologicznego, prędkość obrotowa pierścienia i czas lub liczba obrotów, na podstawie czego można obliczyć drogę tarcia.

Po próbie można obliczyć objętość zużytego materiału wg następującego wzoru:

$$Z_v = \frac{D_t^2 l}{8} \left[2 * \operatorname{sen}^{-1} \left(\frac{b}{D_t} \right) - \operatorname{sen} \left(2 * \operatorname{sen}^{-1} \left(\frac{b}{D_t} \right) \right) \right]$$

gdzie: Z_v = objętość wytarcia [mm],

D_t = średnica pierścienia [mm],

l = szerokość próbki [mm],

b = uśredniona szerokość wytarcia w próbce [mm].

Badane były trzy próbki dla każdej zmiennej. Parametry badań podano w **Tabeli 3**.

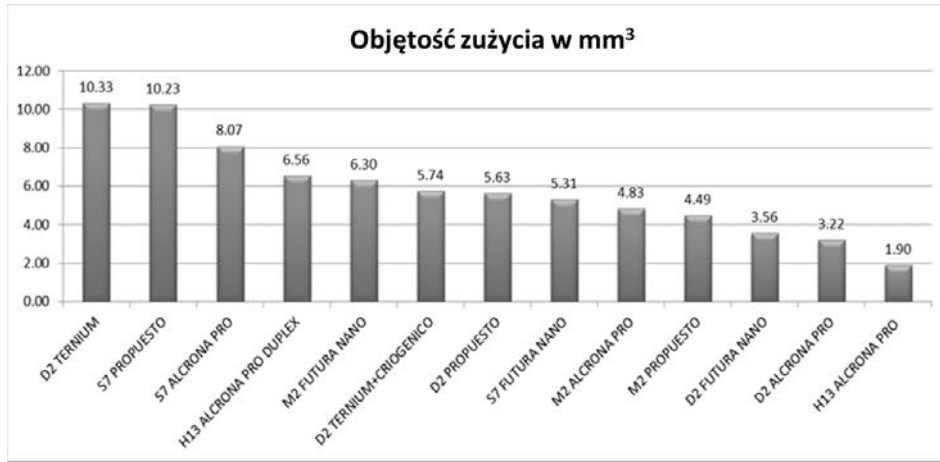
Tabela 3. Matryca parametrów do badań tribologicznych

Table 3. Matrix of experiments for tribological tests

Zmienna	Prędkość obr/min	Obciążenie	Stali	Obróbka cieplna	Powłoka	Liczba prób
1	370	150 kg	D2	Aktualna	-	3
2	370	150 kg	D2	Aktualna + podzerowa	-	3
3	370	150 kg	D2	Proponowana	-	3
4	370	150 kg	D2	Proponowana	Futura Nano	3
5	370	150 kg	D2	Proponowana	Alcrona Pro	3
6	370	150 kg	M2	Proponowana	-	3
7	370	150 kg	M2	Proponowana	Futura Nano	3
8	370	150 kg	M2	Proponowana	Alcrona Pro	3
9	370	150 kg	S7	Proponowana	-	3
10	370	150 kg	S7	Proponowana	Futura Nano	3
11	370	150 kg	S7	Proponowana	Alcrona Pro	3
12	370	150 kg	H13	Proponowana	Alcrona Pro Duplex	3
13	370	150 kg	H13	Proponowana	Alcrona Pro	3
					Ogółem	39

ANALIZA WYNIKÓW

Po realizacji badań tribologicznych mierzono szerokość wytarcia każdej próbki. Jak wynika z **Tabeli 3**, były powtarzane trzykrotnie próby dla każdego proponowanego materiału. Obliczano objętości wytarć, a wyniki przedstawia **Rys. 8**.



Rys. 8. Objętość zużycia badanych próbek

Fig. 8. Volume worn of tribological tests results

Jak widać na rysunku powyżej, materiałem, który prezentuje największe zużycie jest materiał obecnie stosowany w Ternium, (*D2 Ternium*) $10,33 \text{ mm}^3$, podczas gdy materiałem, który najmniej się zużywa jest zaproponowana w projekcie stal H13 z powłoką Alcrona Pro, $1,90 \text{ mm}^3$. Jest to więc różnica pięciokrotna.

Na podstawie wyników prób tribologicznych obliczano procentowe zwiększenie żywotności proponowanych materiałów z odpowiednimi pokryciami PVD (Rys. 9).



Rys. 9. Zwiększenie żywotności proponowanych materiałów w porównaniu z materiałem aktualnie stosowanym

Fig. 9. Increasing the life of proposed materials versus the actual material of Ternium

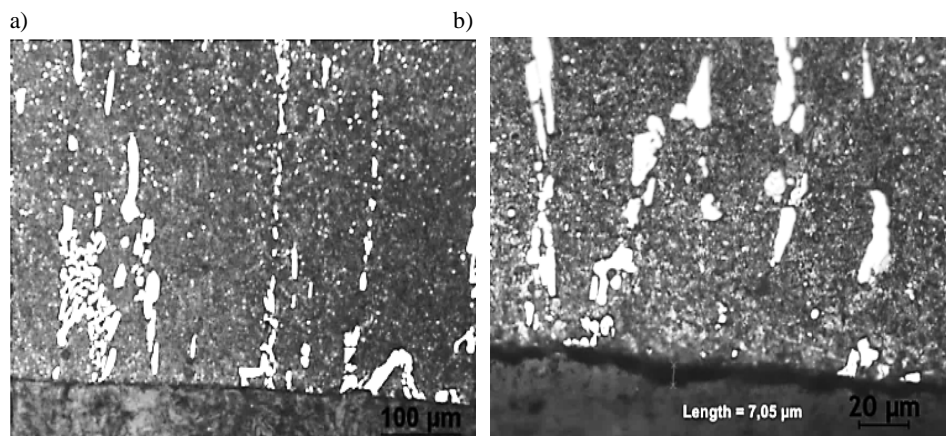
Jak pokazano na poprzednim rysunku, materiałem, który wykazał najlepsze wyniki odporności na zużycie w badaniach laboratoryjnych była stal H13 z pokryciem PVD *Alcrona Pro*. Materiałem o niższych wynikach w badaniach laboratoryjnych była stal S7 prezentująca małą odporność na zużycie, natomiast ten sam materiał z pokryciem *Alcrona Pro* przedstawia wzrost odporności na zużycie do 94%.



Rys. 10. Przykład wytarć próbek w badaniach tribologicznych

Fig. 10. Example of worn prints on samples

Na fotografiach (**Rys. 11**) widoczny jest rozkład węglików chromu w osnowie martenzytu. Kształt, wielkość i rozkład węglików jest charakterystyczny dla tego materiału. Po zastosowaniu obróbki podzerowej w ciekłym azocie nie zaobserwowano występowania austenitu szczątkowego, co polepsza odporność na zużycie. Grubość warstwy powłoki TiAlN, jak pokazano na **Rysunku 11b**,



Rys. 11. Mikrostruktura stali D2 z pokryciem PVD Futura Nano po badaniach tribologicznych: a) pow. 200 x, 3% Nital, b) pow. 500 x Nital 3%. Przekiętna grubość powłoki wynosi nieco ponad 7,05 µm

Fig. 11. Microstructure of D2 steel samples with PVD Futura Nano (Coating after tribological tests) a) Zoom in 200x, 3% Nital, b) Zoom in 500x, 3% Nital. In the right side it is visible the coating layer about of 7.05 µm

wynosi około 7,05 μm . Powłoka ta, o nazwie komercyjnej PVD *Futura Nano*, może pracować w temperaturach około 850°C–900°C. Główną cechą tej powłoki jest wysoka twardość w podwyższonych temperaturach i odporność na utlenianie.

WNIOSKI

Na noże poziome i pionowe do cięcia rur firma Ternium używa stali D2. Ponieważ dostawca narzędzi jest z zagranicy, nieznane są parametry ich obróbki cieplnej. Skład chemiczny materiału, jak i struktura metalograficzna odpowiada faktycznie stali D2. Badania składu chemicznego, jak i mikrostruktury przeprowadzono w laboratorium UDEM.

Na drodze badań tribologicznych stwierdzono, że żywotność materiału D2 zwiększa się, jeżeli zastosuje się kompleksową obróbkę cieplną z odpowiednio dobranymi jej parametrami: nagrzewanie stopniowe, hartowanie w powietrzu, podwójne odpuszczanie i obróbkę podzerową zakończoną niskim odpuszczaniem. Dla każdego z proponowanych materiałów rodzaj i parametry obróbki cieplnej należy starannie dobrać, w niektórych przypadkach nie jest konieczna obróbka podzerowa.

Znaczne zwiększenie odporności na zużycie można osiągnąć przez zastosowanie powłok PVD: Alcrona Pro, Alcrona Pro Duplex i Futura Nano. Zastosowanie proponowanych zabiegów obróbki cieplnej i powłok przyniosło bardzo pozytywne wyniki aż do wzrostu o 444% wytrzymałości na zużycie przy zastosowaniu stali H13 na narzędzia, (hartowanie z temperatur 995–1040°C, dwukrotne odpuszczanie plus azotowane w temp. 540–650°C (1 godzina na cal grubości narzędzia) i pokrycie PVD Alcrona Pro przez firmę Balzers.

Próby pilotażowe noży z zaproponowaną w projekcie obróbką wykazały pozytywne rezultaty. Osiągnięto 58% wzrost przedłużenia żywotności noży (1455 cięć zwiększono do 2554 cięć) tylko stosując obróbkę podzerową dla noży o grubości 0.256 cala i 0.250 cala, które zostały po raz pierwszy testowane na rurach o średnicy 1 1/2 cala.

LITERATURA

1. SISA, Katalog materiałów, Stal D2, SISA. Monterrey.
2. Bejarano, R., Romero, J., Esaak, A. (2011), Prolongación de vida útil de rodillos de Preformado de Tubos. San Pedro Garza García: PEF. UDEM.
3. PalDey, S., & Deevi, S. (2002), Single layer and multilayer wear resistant coatings of (Ti,Al)N; review. Richmond: Elsevier.
4. Polok-Rubinić, M., Dobrzański, L., & M. Adamiak (2009), Comparison of the PVD coatings. Gliwice: Archives of Materials Science and Engineering.
5. Arain, A. (1999), Heat Treatment and Toughness Behavior of Tool Steels (D2 and H13) for cutting blades. Toronto: University of Toronto.

6. Avelar-Batista, J., Spain, E., & Houdsen, J. (2005), Characterisation of Pristine and Recoated electron beam evaporation plasma-assisted physical vapour deposition Cr-N coatings on AISI M2 steel and WC-Co substrates. Cambridge: Elsevier
7. Bayer, A. M., & Vasco, T. (2005), ASM Handbook Volume 1. Properties and Selection: Irons, Steels and High Performance Alloys. ASM International.
8. Das, D., & Dutta, A. (2009), Influence of varied cryotreatment on the wear behavior of AISI D2 steel. Shibpur: Elsevier.
9. Ozel, T., Hsu, T. K., & Zeren, E. (2005), Effects of cutting edge geometry, workpiece hardness, feed rate and cutting speed on surface roughness and forces in finish turning of hardened AISI H13 steel. Piscataway: Advanced Manufacturing Technology.
10. Shih, A. J., & McCall, R. C. (2004), Kinematics and Wear of Tool Blades for Scrap Tire Shredding . Raleigh, North Carolina: Machining Science and Technology.
11. SISA, A. (s.f.), Acero SISA H13, M2, S7. Monterrey
12. George Adam Roberts, R. K. (2000), Tool Steels. Estados Unidos: ASM.

Summary

This investigation seeks to increase the lifetime of a couple of cutting blades pipe. The average life of this pair of blades is about two working shifts, and these blades have fracture and wear problems, which result in line stoppage and bad cuts in the pipes. These blades are currently made of D2 steel (1.5% C, 12% Cr, 1% V), which is a strong but brittle steel, and the process is quite fast and is under severe impact conditions. Searching to increase the mechanical properties, such as toughness and impact resistance, the utilization of a cryogenic treatment (sub-zero) has been proposed. The investigated cryogenic treatment increases the wear resistance in steel D2 ten times and also presents good results in other investigated materials (S7, H13, M2, Cr8) applying different PVD coatings in which the lifetime increases to reach 200%. The tribological tests were done with the T-05 (block on ring) equipment designed by the Institute for Sustainable Technologies in Radom, Poland, to analyse the eroded volume for each specimen.

