

**KARAKTERISASI MEKANIS DAN FISIS LAPISAN *DIAMOND-LIKE CARBON (DLC)*  
DENGAN TEKNIK *PLASMA ASSISTED CHEMICAL VAPOR DEPOSITION (PACVD)*  
PADA PERMUKAAN *TOOL STEEL HSS***

**Saifudin<sup>1</sup>, Sutoyo<sup>2</sup>, Viktor Malau<sup>3</sup>, Priyo Tri Iswanto<sup>4</sup>**

<sup>1,2</sup>Program Studi Mesin Otomotif, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Magelang  
Jl. Bambang Sugeng KM. 5 Magelang  
E-mail : saifudinummgl@yahoo.com

<sup>3,4</sup>Jurusan Teknik Mesin dan Industri, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada  
Jl. Grafika No. 2, Yogyakarta 55281

***Abstrak***

Baja perkakas HSS (High Speed Steel) banyak digunakan pada aplikasi bidang teknik terutama sebagai alat iris / potong. Bahan ini masih mempunyai kelemahan yaitu cepat aus dan terkorosi, dan kelemahan tersebut dapat dikurangi dengan memberi lapisan tertentu pada permukaannya. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh lapisan *Diamond Like Carbon (DLC)* dan perlakuan panas quenching dan tempering terhadap sifat fisis dan mekanis permukaan baja HSS. Sifat fisis yang akan diteliti adalah struktur mikro, sedang sifat mekanis yang ingin diketahui adalah kekerasan, laju keausan dan laju korosi. Baja HSS memiliki variasi komposisi kimia (% berat): 0,75-1,5 C; Co > 12; V > 5; 4-4,5 Cr; 10-20 W dan Mo.

Pelapisan DLC dilakukan dengan teknik *Plasma Assisted Chemical Vapor Deposition (PACVD)* dengan variasi lama pelapisan (1, 2, 3, 4, 5 dan 6 jam) pada suhu 300 °C dengan variasi tekanan 1,0; 1,2; 1,4; 1,6; 1,8 dan 2,0 mbar. Bahan pelapis DLC bersumber dari gas methane atau ethane yang dialirkan ke dalam dapur bersama dengan Argon (Ar). Kekerasan permukaan dapat diketahui dengan menggunakan alat uji kekerasan mikro Vickers, laju keausan diperoleh dengan uji keausan sedangkan struktur mikro diamati dengan mikroskop optik.

Hasil penelitian menunjukkan nilai kekerasan lapisan DLC bervariasi sesuai lama pelapisan dan variasi tekanan. Pelapisan DLC dengan lama pelapisan 4 jam dan tekanan 1,8 mbar dapat menurunkan kekerasan permukaan *tool steel* HSS sebesar 62% disertai dengan peningkatan keuletan.

**Kata kunci:** *DLC, tool steel, kekerasan, keausan*

## 1. PENDAHULUAN

Baja perkakas (*tool steels*), termasuk *High Speed Steels (HSS)* banyak digunakan dalam industri manufaktur sebagai alat iris. Pada umumnya bahan HSS banyak dijumpai di lapangan dengan berbagai merk dan perusahaan serta negara pembuatnya. Baja HSS masih memiliki kelemahan yaitu cepat aus dan terkorosi serta kurang keras sehingga umur (*lifetime*) bahan ini menjadi pendek. Laju keausan dan korosi akan semakin besar jika mekanisme keausan dan korosi terjadi secara simultan (Mesa, dkk, 2003).

Salah satu usaha untuk mengatasi kelemahan ini adalah dengan memberi lapisan yang lebih keras, tahan aus dan korosi pada permukaan HSS dengan berbagai teknik pelapisan. Lapisan TiN atau TiC yang diperoleh dengan teknik *Physical Vapor Deposition (PVD)* atau dengan teknik *Chemical Vapor Deposition (CVD)* dengan tebal lapisan sekitar 3 µm sering dilapiskan pada permukaan baja HSS, tetapi hasilnya

tidak begitu memuaskan serta biaya proses pelapisannya masih mahal. Belakangan ini lapisan *Diamond Like Carbon (DLC)* telah dikembangkan untuk mendapatkan lapisan keras pada permukaan spesimen (termasuk alat iris/potong) dan lapisan ini dapat diaplikasikan pada bidang teknik dan bidang kedokteran (*biocompatible*) untuk komponen-komponen *orthopedics, cardiovascular* dan *guidewires* (Dearnaley and Arps, 2005).

Lapisan DLC pada permukaan spesimen dapat diperoleh dengan teknik *Chemical* dan *Physical Vapor Deposition (CVD dan PVD)* seperti *filament-assited CVD, filtered cathodic vacuum arc, microwave plasma-assisted deposition, mass-assisted ion beam deposition, pulse laser deposition* (Xingbin Yan, dkk, 2004), *RF magnetron sputtering* (Sanchez, dkk, 2000), *plasma source ion implantation and deposition* (Dearnaley and Arps, 2005). Baja perkakas (*tool steels*), termasuk *High Speed Steels (HSS)* banyak digunakan dalam industri manufaktur sebagai

alat iris. Pada umumnya bahan HSS banyak dijumpai di lapangan dengan berbagai merk dan perusahaan serta negara pembuatnya. Baja HSS masih memiliki kelemahan yaitu cepat aus dan terkorosi serta kurang keras sehingga umur (*lifetime*) bahan ini menjadi pendek. Laju keausan dan korosi akan semakin besar jika mekanisme keausan dan korosi terjadi secara simultan (Mesa, dkk, 2003).

Salah satu usaha untuk mengatasi kelemahan ini adalah dengan memberi lapisan yang lebih keras, tahan aus dan korosi pada permukaan HSS dengan berbagai teknik pelapisan. Lapisan TiN atau TiC yang diperoleh dengan teknik *Physical Vapor Deposition* (PVD) atau dengan teknik *Chemical Vapor Deposition* (CVD) dengan tebal lapisan sekitar 3  $\mu\text{m}$  sering dilapiskan pada permukaan baja HSS, tetapi hasilnya tidak begitu memuaskan serta biaya proses pelapisannya masih mahal. Belakangan ini lapisan *Diamond Like Carbon* (DLC) telah dikembangkan untuk mendapatkan lapisan keras pada permukaan spesimen (termasuk alat iris/potong) dan lapisan ini dapat diaplikasikan pada bidang teknik dan bidang kedokteran (*biocompatible*) untuk komponen-komponen *orthopedics*, *cardiovascular* dan *guidewires* (Dearnaley and Arps, 2005).

Lapisan DLC pada permukaan spesimen dapat diperoleh dengan teknik *Chemical* dan *Physical Vapor Deposition* (CVD dan PVD) seperti *filament-assited CVD*, *filtered cathodic vacuum arc*, *microwave plasma-assisted deposition*, *mass-assisted ion beam deposition*, *pulse laser deposition* (Xingbin Yan, dkk, 2004), *RF magnetron sputtering* (Sanchez, dkk, 2000), *plasma source ion implantation and deposition* (Dearnaley and Arps, 2005).

## 2. KAJIAN LITERATUR

Penelitian tentang lapisan permukaan material berupa *Diamond Like Carbon* (DLC) sedang berkembang baik untuk aplikasi bidang teknik maupun bidang kedokteran karena lapisan DLC ini memiliki kekerasan tinggi, koefisien gesek rendah, ketahanan aus tinggi, *bio-compatible* (Manhabosco and Muller, 2009), *chemical inertness* dan lapisan DLC dapat diaplikasikan pada bidang metalurgi, aeronautik dan *biomedical* (Oliveira, dkk, 2012), ketahanan korosi tinggi dan dapat diaplikasikan untuk *magnetic devices* (Pandey, dkk, 2012) serta

meningkatkan *fatigue strength* (Tatsuro Morita, dkk, 2012).

Lapisan tipis DLC dapat meningkatkan ketahanan korosi pada *orthopedics prostheses* dan baik diaplikasikan untuk *biological environment* (Almeida, dkk, 2013; Ahmed, dkk, 2012), dan menghasilkan modulus elastis tinggi (Gun-Ho Noh, dkk, 2009; Srinivasan, dkk, 2012) serta dapat meningkatkan umur (*lifetime*) sampai 250 % dari mata bor pada pengeboran minyak (Ueng and Guo, 2005).

Chen, dkk (2011) telah melapisi permukaan logam tungsten (W) dengan lapisan perantara (*interlayer*) berupa Cr, CrN, CrNC, CrC atau WC dan DLC dilapiskan lagi di atas lapisan perantara tersebut dan diperoleh hasil bahwa spesimen uji memiliki koefisien gesek rendah (sebesar 0,19), keausan spesifik kecil ( $8,36 \times 10^{-7} \text{ mm}^3/\text{Nm}$ ) dengan kekerasan bervariasi dari 13,28 sampai 32,13 GPa. Adanya variasi kekerasan tersebut disebabkan variasi kadungan logam tungsten (W) dalam lapisan yang dihasilkan. Kekerasan dan kekasaran permukaan logam yang diberi lapisan tipis DLC dengan teknik *Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition* (PECVD) tergantung pada parameter proses pelapisan (Bao, dkk, 2005).

Gaya adhesi antara logam Ti6Al4V dengan lapisan DLC dapat ditingkatkan dengan memberi lapisan *carbonitriding* (20 % C + 80 % N<sub>2</sub>) terlebih dahulu pada permukaan Ti6Al4V. Proses *carbonitriding* menghasilkan difusi N<sub>2</sub> pada substrat Ti6Al4V sehingga ikatan dengan lapisan DLC semakin baik dengan koefisien gesek sebesar 0,07 (Oliveira, dkk, 2012). Teknik *electrodeposition* sederhana dengan pematuan nikel (Ni) dengan DLC meningkatkan *graphitization* dari lapisan DLC dan partikel dalam Ni-DLC terdistribusi merata serta kerapatan naik dengan meningkatnya lama pelapisan. Nikel (Ni) berperan penting mengurangi tegangan sisa dan meningkatkan ikatan lapisan Ni-DLC dengan substrat baja (Pandey dkk, 2012).

Berdasarkan uraian di atas dapat disimpulkan bahwa lapisan DLC dapat diaplikasikan dalam bidang *engineering* dengan sifat-sifat yang sesuai kebutuhan (kekerasan dan modulus elastis tinggi, koefisien gesek, laju keausan dan laju korosi rendah) dan bidang kedokteran karena sifat *biocompatible* dari lapisan DLC. Sifat-sifat yang dihasilkan akan tergantung pada bahan

yang dilapisi/ logam dasar, teknik pelapisan dan parameter pelapisan (suhu kerja, tekanan, lama pelapisan, energi pelapisan) dan material sumber untuk menghasilkan lapisan DLC.

### 3. METODE PENELITIAN

#### 3.1. Bahan dan Alat Penelitian

##### a. Bahan atau materi penelitian

- Potongan baja HSS tanpa lapisan.
- Potongan baja HSS yang telah diberi lapisan DLC (*Diamond-Like Carbon*).
- Gas Methane ( $\text{CH}_4$ ) sebagai sumber DLC dan Gas Argon (Ar).
- Kertas ampelas dengan ukuran butir halus dan kasar.
- Autosol, bahan etsa dan alkohol.

##### b. Alat

- Alat/dapur plasma beserta kelengkapannya.
- Mesin poles untuk menghaluskan permukaan spesimen.
- Mesin uji kekerasan untuk mengetahui kekerasan permukaan benda uji.
- Mesin uji keausan untuk mengetahui laju keausan benda uji.
- Alat uji struktur mikro (mikroskop optik).

#### 3.2. Prosedur Penelitian

Benda uji diperoleh dengan cara memotong bahan menurut ukuran dan bentuk sesuai standard pengujian, lalu permukaan spesimen dihaluskan dengan kertas amplas dan autosol. Penelitian dilakukan dengan dua tahap pengujian. Pengujian tahap pertama dilakukan terhadap bahan dasar (*raw material*) berupa baja HSS. Pengujian kedua dilaksanakan terhadap spesimen yang telah mendapat perlakuan pelapisan dengan DLC. Pengujian yang dilakukan meliputi pengujian keausan, kekerasan, pengujian komposisi kimia dan pengamatan struktur mikro dengan mikroskop optik.

Skema sistem plasma diperlihatkan pada Gambar 3.1. Pada prinsipnya reaktor terdiri dari pelat sejajar yang berada dalam ruang yang bisa dibuat vakum.



Gambar 3.1 Skema sistem plasma CVD

Kemudian untuk menghasilkan plasma maka kedua pelat dibuat sejajar, yang merupakan sistem elektrode dan dihubungkan dengan tegangan DC dengan anode sistem *grounded* (ditanahkan). Reaktor tersebut juga dilengkapi dengan sistem pemanas yang berfungsi untuk memanaskan spesimen. Suhu di ruang plasma dijaga dengan alat kontrol temperatur pada suhu 250–500°C yang diberikan oleh sistem pemanas. Suhu operasi yang optimal perlu ditentukan untuk setiap aplikasi berbeda. pada suhu lebih tinggi, lapisan keras yang dihasilkan bisa lebih dalam namun dengan resiko terjadi perubahan dimensi dan penurunan kekerasan maksimum yang bisa dicapai.

Dalam pelaksanaannya spesimen yang akan dilapisi diletakkan pada anode. Kemudian gas methane dan argon dialirkan ke ruang hampa dengan aliran konstan dan plasma akan dihasilkan diantara pelat sejajar (elektrode) pada tegangan DC. Kemudian elektron yang dihasilkan pada peristiwa *discharge* akan menumbuk gas methane sehingga gas methane terionisasi. Ion-ion gas methane tersebut oleh medan listrik dipercepat menuju spesimen dan selanjutnya berinteraksi dengan permukaan spesimen.

### 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

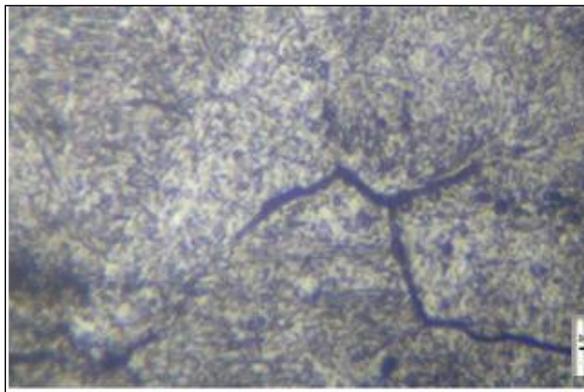
#### 4.1. Struktur Mikro

Tujuan dari pengamatan struktur mikro adalah untuk mengetahui bentuk dan batas butir. Baja kecepatan tinggi (*high speed steel*) yang sudah dipoles dengan ampelas, digosok dengan pasta intan dan dietsa dengan nital 2%. Struktur mikronya dapat dilihat seperti ditunjukkan pada Gambar 3.1. di bawah ini.



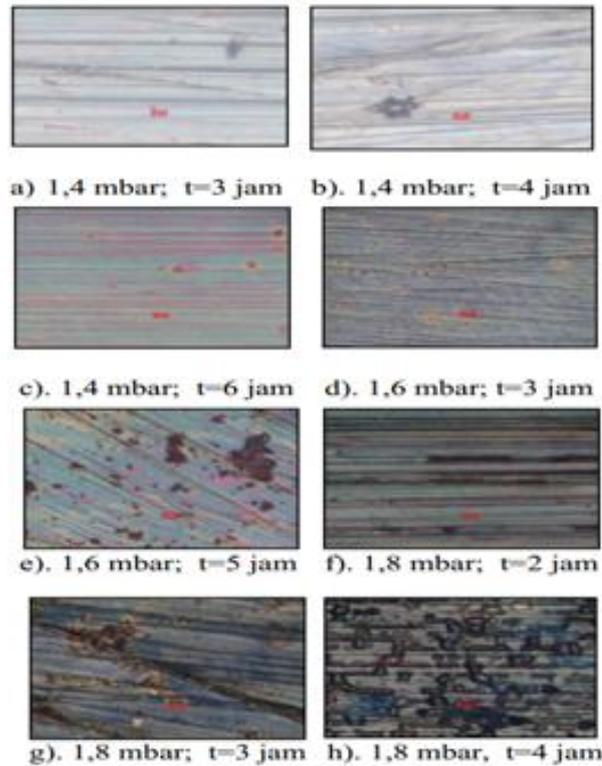
Gambar 4.1. Struktur mikro *high speed steel*

Gambar 4.1 menunjukkan struktur mikro HSS terdiri dari **jarum-jarum martensit dalam butiran austenit kasar**. Struktur ini dikeraskan dengan dipanaskan pada batas atas jangkauan yang diijinkan sehingga bahan HSS ini mampu mempertahankan nilai kekerasan pada suhu 300~700 C tetapi tidak tahan terhadap keuletan.



Gambar 4.2. Struktur mikro *high speed steel* hasil *quenching*.

Gambar 4.2. menunjukkan spesimen HSS yang telah mendapat perlakuan *quenching* ini akan memiliki kekerasan tinggi dengan **struktur martensit dan mempunyai butir halus**. Martensit terjadi akibat pendinginan cepat dari temperatur Austenite. Akibat *quenching* (pendinginan cepat) dengan oli menyebabkan karbon tidak dapat berdifusi keluar dan terperangkap di dalam larutan jenuh sehingga terbentuk fase Martensite (dalam bentuk BTC) dengan tranformasi geser.



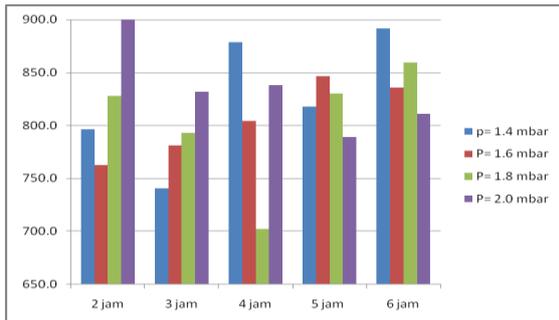
Gambar 4.3. Struktur mikro *high speed steel* hasil pelapisan DLC.

Gambar 4.3. menunjukkan struktur mikro HSS yang telah mengalami pelapisan DLC. Struktur mikro HSS terdiri dari **jarum-jarum martensit dalam butiran austenit kasar** dengan karakteristik mampu mempertahankan nilai kekerasan pada suhu 300~700 °C tetapi getas sehingga tidak tahan terhadap keuletan. Sifat getas bahan HSS dapat dikurangi dengan melakukan proses pelapisan DLC dengan suhu konstan 300 °C. Variasi tekanan mulai 1.4 ; 1.6 ; 1.8 ; dan 2.0 mbar dengan lama pelapisan 2, 3, 4, 5 dan 6 jam. Dari gambar 4.3 di atas dapat dijelaskan, pada tekanan pelapisan 1,8 mbar dengan lama pelapisan 4 jam bentuk butiran menjadi besar sehingga bahan menjadi lunak dan ulet. Hal ini juga sesuai dengan hasil pengujian kekerasan yang mengalami penurunan kekerasan menjadi sebesar 702,10 VHN.

#### 4.2. Uji Kekerasan

Gambar 4.4. di bawah ini, menunjukkan hasil uji kekerasan yang paling tinggi terjadi pada spesimen yang telah mengalami pelapisan pada tekanan 2,0 mbar dengan lama pelapisan 2 jam yaitu sebesar 921,40 VHN dan kekerasan yang paling rendah terjadi pada spesimen yang telah mengalami pelapisan pada tekanan 1,8 mbar dengan lama

pelapisan 4 jam sebesar yaitu sebesar 702,10 VHN disertai dengan peningkatan keuletan spesimen.



Gambar 4.4. Grafik Hasil Uji Kekerasan

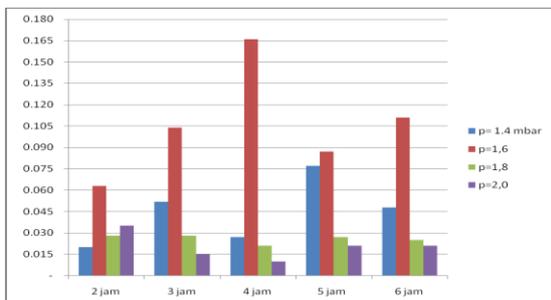
Hasil di atas juga sesuai dengan pernyataan bahwa, kekerasan dan kekasaran permukaan logam yang diberi lapisan tipis DLC dengan teknik *Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition* (PECVD) tergantung pada parameter proses pelapisan (Bao, dkk, 2005).

### 4.3. Laju Keausan

Laju keausan dinyatakan dengan jumlah kehilangan/ pengurangan material (massa, volume atau ketebalan) tiap satuan panjang luncuran atau satuan waktu. Keausan spesifik dihitung berdasarkan lebar keausan benda uji yang termakan oleh pengaus yang berputar. Keausan spesifik ( $W_s$  dalam  $mm^3/kgmm$ ) diungkapkan dengan rumus (Manual Book, 2000).

$$W_s = \frac{B \cdot b^3}{8 \cdot r \cdot P_o \cdot l_o} \dots(1)$$

dengan: B = lebar disk (piringan) pengaus (mm), b = lebar keausan pada benda uji (mm), r = radius piringan pengaus (mm),  $P_o$  = beban tekan pada saat pengausan (kg) dan  $l_o$  = jarak tempuh dari proses pengausan (mm).



Gambar 4.5. Grafik Hasil Laju Keausan

Hasil pengujian laju keausan seperti pada gambar 4.5. di atas, menunjukkan laju keausan yang paling tinggi terjadi pada spesimen yang telah mengalami pelapisan DLC dengan tekanan 1,6 mbar dengan lama pelapisan 4 jam yaitu sebesar 0,166  $W_s$  dan laju keausan yang paling rendah terjadi pada spesimen yang telah mengalami pelapisan DLC dengan tekanan 2,0 mbar dengan lama pelapisan 4 jam yaitu sebesar 0,010  $W_s$ . Hal ini juga sesuai dengan hasil pengujian kekerasan, dimana pada pelapisan DLC dengan tekanan 1,4 mbar dengan lama pelapisan 2 jam menunjukkan nilai kekerasan yang paling tinggi sebesar 921,40 VHN. Hasil di atas juga sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Chen, dkk (2011) yang telah melapisi permukaan logam HSS dengan lapisan DLC dan diperoleh hasil bahwa spesimen uji memiliki koefisien gesek rendah (sebesar 0,19), keausan spesifik kecil ( $8,36 \times 10^{-7} mm^3/Nm$ ).

## 5. KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1. KESIMPULAN

1. Hasil penelitian menunjukkan nilai kekerasan lapisan DLC bervariasi sesuai lama pelapisan dan variasi tekanan. Pelapisan DLC dengan lama pelapisan 4 jam dan tekanan 1,8 mbar dapat menurunkan kekerasan permukaan *tool steel* HSS sebesar 62% disertai dengan peningkatan keuletan. Pada pelapisan DLC dengan lama pelapisan 4 jam dan tekanan 1,8 mbar bentuk **butiran menjadi besar** sehingga bahan menjadi lebih lunak.
2. Lama pelapisan dan tekanan optimum untuk menghasilkan kekerasan tertinggi dan laju keausan terkecil dari baja HSS yang dilapisi dengan DLC adalah : lama pelapisan 3-5 jam dengan tekanan pelapisan 1,8 mbar.

### 5.2. SARAN

Untuk memperoleh keuletan yang optimal pada pahat potong HSS dengan pelapisan DLC maka disarankan menggunakan perlakuan pelapisan dengan waktu lama pelapisan antara 3 sampai 5 jam dengan tekanan pelapisan 1,8 mbar.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Kami mengucapkan terima kasih kepada:

1. DIKTI-DITLITABMAS yang telah membiayai penelitian ini.

2. LPM Universitas Muhammadiyah Magelang.
3. Universitas Gadjah Mada sebagai Mitra.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Ahmed, M.H., Byrne, J.A., McLaughlin, J., 2012, *Evaluation of glycine adsorption on diamond like carbon (DLC) and fluorinated DLC deposited by plasma-enhanced chemical vapour deposition (PECVD)*, Surface and Coatings Technology, Vol. 209, pp. 8-14.
- Almeida, C.N., Ramos, B.C., Da-Silva, N.S., Pacheco-Soares, C., Trava-Airoldi, V.J., Lobo, A.O., Marciano, F.R., 2013, *Morphological analysis and cell viability on diamond-like carbon films containing nanocrystalline diamond particles*, Applied Surface Science xxx, pp. xxx–xxx, journal home page: [www.elsevier.com/locate/apsusc](http://www.elsevier.com/locate/apsusc).
- Bao, T., Morrison Jr, P.W., Woyczynski, W.A., 2005, *Parametric optimization of microhardness of diamond-like carbon films prepared by plasma enhanced chemical vapor deposition*, Thin Solid Films 485, pp. 27 – 41.
- Chen Xinchun, Zhijian Peng, Zhiqiang Fu, Sudong Wu, Wen Yue, Chengbiao Wang, 2011, *Microstructural, mechanical and tribological properties of tungsten-gradually doped diamond-like carbon films with functionally graded interlayers*, Surface & Coatings Technology 205, pp. 3631–3638.
- Cho, H., Kim, S., Ki, H., 2012, *Pulsed laser deposition of functionally gradient diamond-like carbon (DLC) films using a 355 nm picosecond laser*, Acta Materialia 60, pp. 6237–6246.
- Dearnaley, G., Arps, J. H., 2005, *Biomedical application of diamond-like carbon (DLC) coatings: A review*, Surface & Coatings Technology 200, pp. 2518-2524.
- Fu Zhiqiang, Sun Jian, Wang Chengbiao, Zhang Wei, Yue Wen, Peng Zhijian, Yu Xiang, Lin Songsheng, Dai Mingjiang, 2013, *Tribological performance of DLC coatings deposited by ion beam deposition under dry friction and oil lubricated conditions*, Vacuum 94, pp. 14-18.
- Gun-Ho Noh, Adela Bordeanu, Ju-kyung Lee, Jae-Chul Pyun, 2003, *Development of a*

*diamond-like carbon (DLC) electrode for brake fluid monitoring*, Current Applied Physics 9, pp. 243–245

- Jian Sun, Zhi-qiang Fu, Wei Zhang, Cheng-biao Wang, Wen Yue, Song-sheng Lin, Ming-jiang Dai, 2013, *Friction and wear of Cr-doped DLC films under different lubrication Conditions*, Vacuum 94, pp. 1-5.