

STUDI PUSTAKA PENYEBAB KEGAGALAN PERMUKAAN AKIBAT *FLASH TEMPERATURE* PADA KONTAK *SLIDING*

M Denny Surindra¹⁾

1) Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Polines

Jl.Prof. H. Sudartha, SH, Semarang

E-mail: dennysurindra@yahoo.com.sg

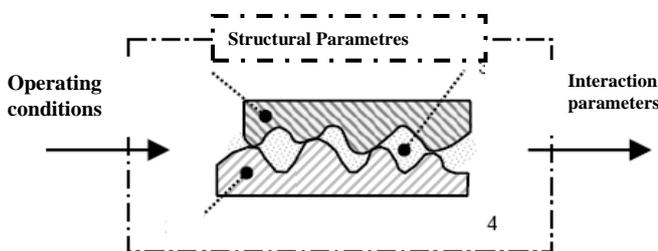
Abstrak

Tribology merupakan ilmu yang mempelajari kontak permukaan yang sedang melakukan gerakan relative. Banyak proses manufaktur dan aplikasi tribosystem melibatkan sliding antara dua buah body yang menimbulkan energy panas pada daerah kontak. Paper ini mereview model-model perpindahan panas yang terbangkitkan akibat adanya deformasi plastis atau gesekan. Gesekan ini mengakibatkan pelepasan panas (frictional heat) pada area kontak yang dapat menyebabkan kegagalan permukaan berupa lecet/scuffing. Dengan demikian perlu pengembangan identifikasi dan verifikasi flash temperature yang dapat menyebabkan scuffing antara model Bos yang telah meneliti flash temperature secara bulk temperature dengan model Drogen yang meneliti flash temperature di setiap tonjolan roughness surface.

Kata kunci : Pereduksian, CO, Pengapian

1. PENDAHULUAN

Tribology erat kaitannya dengan kontak permukaan yang sedang melakukan gerakan relatif. Kontak tersebut akan menghasilkan gesekan yang mengakibatkan terjadinya keausan sehingga pelumasan sangat dibutuhkan untuk mengurangi gesekan dan keausan. Tribology sangat berperan penting dalam kehidupan sehari-hari, contoh aplikasinya adalah gear, cam follower, traction system, pengereman, bearing, cutting tools dan clutches. Skema tribosystem dapat dipresentasikan dengan dua buah body yang sedang kontak (1 dan 2), dengan pelumasan (3) yang berada di antara dua body dan sekelilingnya (4) seperti yang terlihat dalam Gambar 1.



Gambar 1. Skema sebuah Tribosystem [1]

Banyak proses manufaktur dan aplikasi tribosystem melibatkan gerakan *sliding* antara dua buah *body* yang menimbulkan energi panas pada daerah kontak akibat adanya deformasi plastis atau gesekan

misalnya panas yang terbangkitkan di dalam proses pengerjaan dengan mesin (*machining*).

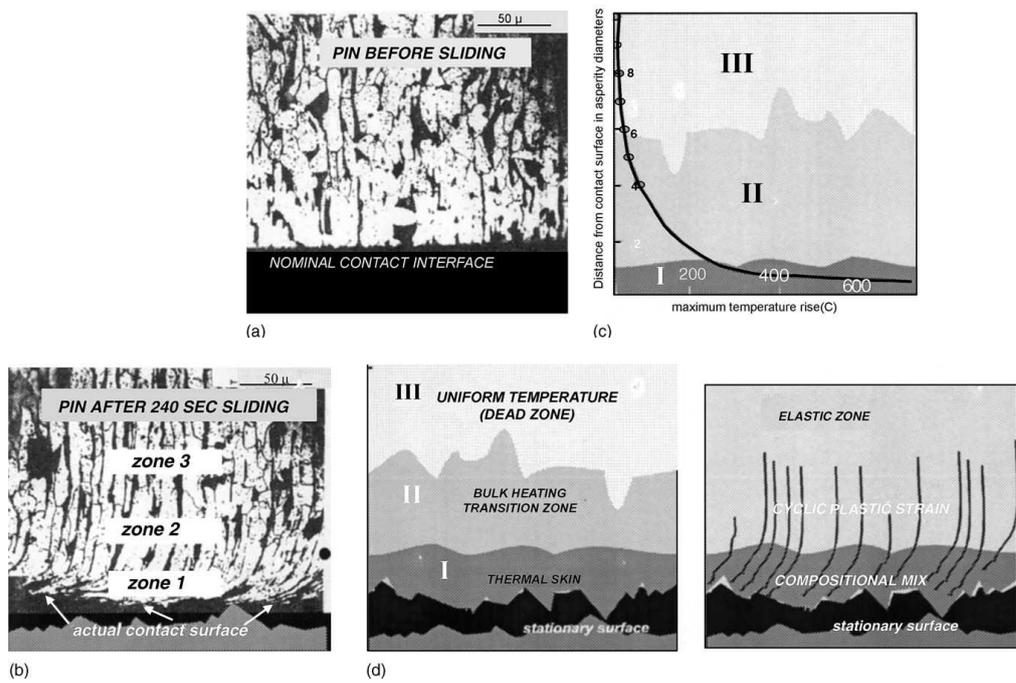
Transformasi energi gesek ke *thermal* merupakan peningkatan temperatur *body* yang mengalami *sliding*, khususnya pada kontak *spot-to-spot* pada area *real contact*. Kenaikan temperatur pada puncak *asperity-asperity* dapat menjadi besar tetapi dalam waktu yang singkat dikarenakan area kontak yang kecil sekali [2]. Temperatur ini mempunyai pengaruh yang serius pada karakteristik gesekan dan *wear* karena merubah sifat-sifat *mechanical*, *chemical* dan *thermal* pada permukaan kontak [3]. Penelitian tentang *frictional heating* dan temperatur kontak dimulai 1937 oleh Blok [4] yang meneliti tentang kenaikan temperatur karena sumber panas yang terkonsentrasi yaitu *flash temperature*. *Flash temperature* pada *asperity* adalah sangat penting untuk dipelajari khususnya dalam kontak *boundary lubricated* dimana gaya angkat *hydrodynamic* pelumas dapat diabaikan [5]. Temperatur ini menurut hipotesis Blok [6] dapat menyebabkan kegagalan permukaan berupa lecet/*scuffing*. Disebagian kontak, *flash temperature* mengurangi konsentrasi penyerapan pelumas yang melindungi permukaan dari *scuffing* [7].

Peristiwa *Thermal* dan *Mechanical* Pada *Dry Sliding*

Terjadinya panas pada saat gerakan *sliding* telah banyak diungkapkan dalam teori *flash temperature* seperti yang diperkenalkan oleh Blok [8] dan membuat formula sederhana kenaikan temperature maksimum gerakan *sliding* diatas permukaan. Kemudian ditekuni oleh Jaeger [9] dengan membuat formula model matematika untuk *flash temperature* suatu medium *semi-infinite* berupa kotak dengan gerakan seragam sebagai sumber panas. Semenjak itu banyak model *flash temperature* ditampilkan dalam literature yang meneruskan teori Jaeger dengan berbagai bentuk sumber panas dan berdasarkan multi kontak *asperity* dengan kondisi *steady state*, seperti Archard [10] yang membuat penyelesaian untuk single

asperity yang diteliti dengan kecepatan *sliding* yang dengan orientasi kontak berbeda-beda. Teori *flash temperature* mengandung *thermal skin* yang dipengaruhi oleh suatu kekuatan yang mendesak yang mana aliran *frictional heating* mengalir ketika terjadi penekanan pada salah satu *body* yang bergesekan [11]. Pengaruh dari *thermal skin* ini menyebabkan munculnya dua komponen temperatur dalam gesekan. Yang pertama dikenal dengan *flash temperature* yang bersifat transien dan berada pada permukaan.

Saat *sliding*, kedua-duanya *thermal* dan *mechanical* terjadi bersamaan. Penggunaan klasifikasi dengan analogi tangkai dari *thermo-mechanical* yang saling ketergantungan dengan zone didiskusikan menggunakan Gambar 3.2 berikut ini.



Gambar 2. Analogi antara *thermal* dan *mechanical* saat terjadinya *dry sliding*. (a) Sebelum *sliding* suatu *mild steel* (AISI 1020) pin-spesimen (6 mm x 1mm, mengalami *sliding* sejauh 1 mm). (b) Pin-spesimen setelah *sliding* selama 240 s pada kecepatan 0,5 m/s. (c) Skema distribusi temperature untuk pin-spesimen. (d) Skema ilustrasi zone *thermal* saat *sliding* (e) Skema ilustrasi zone *mechanical* yang berkembang saat *sliding* [41].

Dari Gambar 2 dapat diidentifikasi dengan jelas terdapat 3 zone. Zone 1 disebut “*compositional mix*” yaitu daerah terdekat dengan permukaan aktual *sliding*. Komposisi zone 1 berbeda dengan daerah lapisan dibawahnya dimana zone 1 terdiri dari

material specimen original, material *counter-face* dan material dari lingkungan sekitarnya [11]. Secara *thermal*, zone 1 merupakan “*thermal skin*” dikenal dengan *flash temperature* yang menyelubungi suatu lapisan tipis dibawahnya dari *asperity* yang

akan kontak. Panas yang terbangkitkan dimanifestasikan sebagai gradien temperatur yang merupakan karakteristik dari *thermal skin*, di sini terdapat kumpulan deformasi dan orientasi dari butiran-butiran material di permukaan.

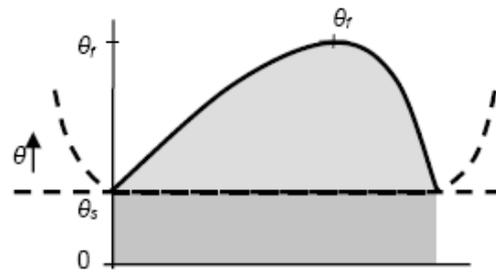
Zone 2 dikarakterkan sebagai akumulasi *plastic strain*/regangan plastis, terpisah dari zone 1, dimana pada zone 2 ini komposisinya terdiri dari material specimen saja. Kenaikan temperatur membesar dengan terjadinya deformasi plastis (pembangkitan panas internal). Bagaimanapun juga gradien temperatur tidak hanya dinyatakan di zone 1 saja, tetapi juga di zone 2 karena dapat dibandingkan deformasi dan orientasi butiran-butirannya dengan permukaan zone 1. Dengan gradien temperatur yang terus menjalar dari permukaan zone 1, zone 2 merupakan suatu transisi antara kenaikan temperatur di permukaan kontak dengan *bulk material* yang tidak aktif secara *thermal*. Daerah yang mengalami deformasi elastis disebut dengan zone 3 seperti yang terlihat dalam Gambar 3.2 mengikuti zone 2. Suatu permukaan elastis/plastis menegaskan batasan antara kedua daerah ini. Seperti zone 2, zone 3 terdiri dari specimen material saja. Bagaimanapun secara *thermal* daerah zone 3 ini dapat dianggap tidak aktif [14].

2. TINJAUAN PUSTAKA

Problem *thermal* untuk gerakan *sliding* telah diselesaikan dengan menggunakan analisis fungsi pendekatan yang diusulkan oleh Chao dan Trigger. Distribusi temperatur pada semua titik baik sepanjang kontak maupun fungsinya yang dipresentasikan sebagai *flash temperature* pada permukaan di-*match*-kan sangat dekat. Variasi temperatur pada permukaan kontak *sliding* sama dengan kedalaman yang ditentukan. Pengaruh dari kondisi *sliding* termasuk kecepatan *sliding*, panjang dari sumber panas, lamanya kontak dan sifat-sifat *thermo-physical* dari dua *body* yang mengalami *sliding* telah diteliti oleh Chao dan Trigger [15].

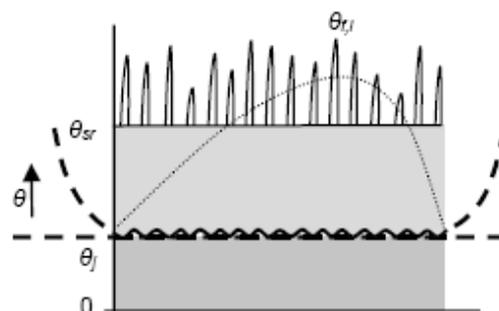
Bos dan Moes [16] meneliti *heat partition* untuk sumber panas lingkaran dan *elliptic* dan mengembangkan pendekatan numerik untuk menyelesaikan *steady-state heat partition* dan dihubungkan dengan *flash temperature* untuk bentuk kontak berubah-ubah dengan me-*matching*-kan temperature permukaan dari dua solid yang kontak pada semua poin di dalam area kontak.

Bos [17] telah mengembangkan model untuk memprediksi temperatur kontak pada sumber panas bentuk *elliptical*. Hasilnya dipresentasikan dengan akurat mendekati bentuk formula *fit* untuk menghindari waktu yang dibutuhkan dalam perhitungan numerik dan dengan penelitian Bos tersebut dapat meningkatkan aplikasi situasi puncak multi kontak.



Gambar 3. Situasi kontak temperature menurut Bos.

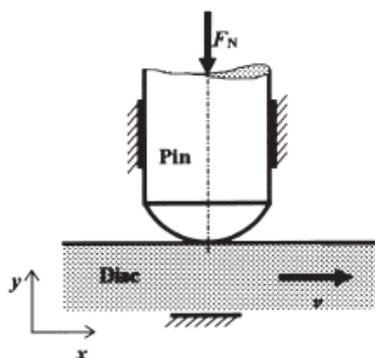
Disalah satu bagian penelitian Mark van Drogen [1] melengkapi dari penelitian Bos yaitu total temperature kontak dapat dihitung untuk kombinasi kondisi operasi dan struktur parameter dengan menampilkan temperature kritis dimana akan terjadi *scuffing* seperti yang terlihat dalam Gambar 4.



Gambar 4. Situasi kontak temperature menurut Drogen [1]

Menurut Priit [18] yang telah meneliti kontak dengan material *steel* mengatakan jika kontak *flash temperature* diatas 700°C akan

terjadi mekanisme keausan secara oksidasi (*oxidational wear mechanism*). Priit membangun model dengan pin dan disk yang mengalami gesekan.



Gambar 5. Pin dan Disk mengalami kontak yang bergesekan

Keausan pin dan disk tersebut telah dianalisis oleh Priit dengan FEA. Selain itu Priit juga melakukan eksperimental untuk membuktikan simulasi numeric yang telah dibangun.

Ling dan Ng [19] meneliti temperatur pada permukaan dua *body* yang sedang kontak *sliding*. Model yang dibangun terdiri dari piringan yang berputar sebagai *slider* dan sebuah *plate-ring* sebagai *rider*. Kenaikan temperatur pada *slider* dan *rider* ditentukan dengan menggunakan metode fungsi *Green* untuk yang dua dimensi, *quasi-stationary* konduksi panas dalam pergerakan sistem koordinat. Kedua muka dari *rider* diasumsikan terisolasi atau dengan batasan adiabatik.

Ling dan Pu [20] menggunakan model *stochastic* untuk mengestimasi temperatur permukaan *solid* saat kontak *sliding* dimana suatu *finite* sejumlah *spot* kontak yang kecil yang ditempatkan secara *stochastically*. Ling dan Pu melakukan observasi secara statistik terdapat dua temperatur yang penting dan keduanya transien. Yang pertama adalah rata-rata kontak area nominal dan yang kedua adalah ruang dan waktu rata-rata kontak yang seketika itu juga.

Barber [21,22] meneliti distribusi panas antara metal dibandingkan dengan yang dikeraskan, mengalami *sliding* satu dengan yang lainnya. Barber mendapatkan penyelesaian untuk konduksi panas pada

interaksi *asperity* tunggal dan diperlihatkan setidaknya ada perbedaan temperatur antara kedua permukaan, menjadi tidak ada artinya perbedaan antara kondisi bergerak dengan permukaan *stationary*. Berry dan Barber [23] memeriksa divisi *frictional heat* dengan mengembangkan suatu alternatif geometri specimen yang membolehkan bagian panas diantara solid yang sedang mengalami *sliding* dengan variasi material secara eksperimental.

Francis [24] mengembangkan solusi secara analitik untuk *steady-state* distribusi temperatur antarmuka dengan *sliding Hertzian contact*. Dia memikirkan suatu piringan sumber panas dengan distribusi intensitas panas berbentuk *elliptic* pada permukaan. Francis melakukan pendekatan temperatur antar muka dengan kontak area berbentuk setengah lingkaran, berarti mempunyai dua temperatur di permukaan tunggal yaitu bidang temperatur (temperatur saat bergerak dan temperatur *stationary*) yangmana akan ada jika setiap *body* menerima *frictional heat*.

Tian dan Kennedy [25] meneliti temperatur permukaan kontak pada *body* dengan ketebalan *finite* dan area kontak *sliding* bergesekan berulang-ulang pada bagian yang sama. Mereka mengembangkan model untuk kenaikan temperatur karena kecil dan besar aliran panas yang mendesak untuk kontak *stationary* dan kontak bergerak untuk membagi kenaikan temperatur saat kontak *sliding* ke dalam dua kontribusi yaitu kenaikan temperatur permukaan nominal dan kenaikan temperatur lokal. Mereka membandingkan hasil analitik dengan hasil eksperimental dan mendapatkan persesuaian yang baik. Tian dan Kennedy [26] juga meneliti *flash temperature* maksimum dan rata-rata saat kontak *sliding* untuk range *pecllet number* yang lebih lebar yang menggunakan metode *green's function* untuk kasus *square and circular uniform* dan sumber panas yang berbentuk parabolik.

Floquet et al. [27] meneliti masalah *bearing* tanpa pelumasan dengan *plastic linear*. Mereka mengaplikasikan dua dimensi metode transform fourier untuk menghitung temperatur kontak. Mereka juga menemukan

koefisien *partition* antara *stationary* dengan elemen yang bergerak pada permukaan yang berubah-ubah sepanjang kontak. Floquet [28] juga mempelajari secara eksperimental temperatur pada bearing tanpa pelumasan dengan *plastic liners* menggunakan teknik inframerah.

Kennedy [29,30] mengembangkan pendekatan secara numerik untuk masalah *dry sleeve bearing* menggunakan *finite element method* (FEM) termasuk mengembangkan persamaan *finite element* untuk kasus konduksi panas *body* yang bergerak. Pembangkitan panas diasumsikan terjadi pada permukaan *bearing liner-shaft*, dengan distribusi intensitas panas parabolik untuk sumber panas dan kondisi batasan konveksi. Kennedy menggunakan system *bearing* dan kondisi *sliding* yang sama dengan Floquet et al., sehingga perbandingan dapat dilakukan antara hasil eksperimen dengan hasil numeric.

Komanduri dan Hou [31] meninjau kembali pendekatan analisis *functional* untuk distribusi temperatur dan *heat partition* di permukaan *chip-tool* saat *machining* dan ditemukan pendekatan yang sederhana dan cepat, khususnya dalma pandangan tersedia murah, komputer yang canggih. Pada dasarnya hubungan *functional* untuk *flash temperature* tergantung pada sifat intensitas distribusi panas, panjang kontak permukaan, kecepatan bergerak sumber panas dan sifat-sifat *thermo-physical* dua elemen yang berada di sistem *sliding*. Faktor-faktor tersebut diteliti lebih mendalam untuk menganalisis *thermal* di sistem *sliding* [32]. Komanduri dan Hou [33] juga melakukan penelitian pada distribusi non-uniform dari *heat partition* dengan model satu *body* dalam kondisi *stationary* dan yang lainnya bergerak sepanjang permukaan.

3. KESIMPULAN

Flash temperature karena *sliding contact* dapat mengakibatkan kegagalan permukaan berupa *scuffing*, sehingga banyak peneliti yang memilih bidang penelitian tentang *flash temperature* dengan mengembangkan berbagai model analitik, numeric dan

memvalidasi dengan melakukan eksperimental. Dengan kegagalan ini, penggantian komponen mesin akan sering dilakukan, oleh sebab itu *flash temperature* sebagai hasil kompleks interaksi operasional parameter harus dipetakan agar didapatkan suatu tribosystem yang mempunyai resistensi terhadap *scuffing*.

DAFTAR PUSTAKA

1. Van Drogen, Mark., 2005, "The transition to adhesive wear of lubricated concentrated contact", Ph.D. thesis, Twente University, Enschede, The Netherlands.
2. Guha D, Roy Choudhuri SK., 1996, "The effect of surface roughness on the temperature at the contact between sliding bodies", *Wear*, Vol. 197, pp. 63-73.
3. Mitjan Kalim and Jože Vižintin., 2001, "Comparison of different theoretical models for flash temperature calculation under fretting conditions", *Tribology International*, Vol. 34, pp. 831-839.
4. Blok, H., 1937, "Theoretical study of temperature rise at surface of actual contact under oiliness lubricating condition", *Instn. Mech. Engrs., Proceedings of general discussion on lubrication and lubricants*, Vol. 2, pp. 222-235.
5. Jianqun Gao and Si C.Lee., 2000, "An FFT-Based transient Flash temperature model for general three-dimensional rough surface contacts", *ASME*, Vol. 122, pp. 519-523.
6. Blok, H., 1939, "Seizure Delay Method for determining the protection against scuffing afforded by extreme pressure lubricants", *SAE Journal*, Vol. 44, pp. 193-204.
7. Lee., S.C. and Cheng, H.S., 1991, "Scuffing theory modeling and experiment mental correlation", *ASME J. Tribology*, Vol. 113, pp. 327-334.
8. Blok, H., 1963, "Flash temperature concept", *Wear*, Vol. 36, pp. 483-494.

9. Jaeger, J.C., 1942, Moving sources of heat and the temperature of sliding contact, *Proc. R. Soc. NSW*, Vol. 76, pp. 203-224.
10. Archard, J.F., 1958/1959, "The temperature of rubbing surface", *Wear*, Vol. 2, pp. 438-455.
11. Blok, H., 1970, "The postulate about the constancy of scoring temperature", NASA, sp-237, Washington, DC.
12. Abdel-Aal, H.A., 2002, "Thermal kinetics of protective oxide layer formation in dry sliding of metallic tribo-specimens", *Tribol. Int.*, Vol 35 (11), pp. 757-769.
13. Rice, S.L., Nowtony, H., Wayne, S.F., 1982, "Formation of subsurface zone in impact wear", *Trans. ASLE*, Vol 72 (2), pp. 264-268.
14. Abdel-Aal, H.A., 2003, "Efficiency of thermal energy dissipation in dry rubbing", *Wear*, Vol 255 (11), pp. 348-364.
15. Chao, B.T., and Trigger, K.J., 1955, "Temperature distribution at the chip-tool interface in metal-cutting", *Trans. ASME*, Vol 77, pp. 1107-1121.
16. Bos, J. and Moes, H., 1995, "Frictional heating of tribology contact", *Trans. ASME J. Tribol.*, Vol. 117, pp. 117-177.
17. Bos, J., 1995, "Frictional heating of tribological contact", Ph.D. thesis, University of Twente, The Netherlands.
18. Priit Põdra and Sören Andersson., 1999, "Simulating sliding wear with Finite Element Method", *Tribology International*, Vol. 32, pp. 71-81.
19. Ling, F.F. and Ng, 1962, "On temperatures at the interface of bodies in sliding contact", *Proceedings of the 4th US National Congress of Applied Mechanics*, ASME, New York, NY, Vol. 4, pp. 1343-1349.
20. Ling, F.F. and Pu, S., 1964, "Probable interfaces temperatures of solids in sliding contact", *Wear*, Vol. 7 (9), pp. 23-34.
21. Barber, J.R., 1967, "Distribution of heat between sliding surface", *J. Mech. Eng. Sci.*, Vol. 9, pp. 133-146.
22. Barber, J.R., 1970, "The conduction of heat from sliding solid", *Int. J. Heat Mass Transfer*, Vol. 13, pp. 857-869.
23. Berry, G.A. and Barber, J.R., 1984, "The division of frictional heat-a guide to the nature of sliding contact", *Trans. ASME J. Tribol.*, Vol. 106, pp. 405-415.
24. Francis, H.A., 1970, "Interfacial temperature distribution within a sliding hertzian contact", *ASLE Trans.*, Vol. 14, pp. 41-54.
25. Tian, X. and Kennedy, Jr., F.E., 1993, "Contact surface temperature models for finite bodies in dry and boundary lubricated sliding", *Trans. ASME. J. Tribol.*, Vol. 115, pp. 411-418.
26. Tian, X. and Kennedy, Jr., F.E., 1994, "Maximum and average flash temperatures in sliding contact", *Trans. ASME. J. Tribol.*, Vol. 116, pp. 167-174.
27. Floquet, A., Play, D. and Godet, M., 1977, "Surface temperature in distributed contact application to bearing design", *Trans. ASME J. Lubric. Technol.*, Vol. 99, pp. 277-283.
28. Floquet, A., 1978, "Temperatures de contact en frottement sec, determinations theorique et experimental", *Docteur-Ingenier thesis.*, Universite Claude Bernard, Lyon, France.
29. Kennedy, Jr., F.E., 1984, "Thermal and thermomechanical effect in dry sliding", *Wear*, Vol. 100, pp. 453-476.
30. Kennedy, Jr., F.E., 1981, "Surface temperature in sliding system-a finite element analysis", *Trans. ASME J. Tribol.*, Vol. 103, pp. 90-96.
31. Komanduri, R. and Hou, Z.B., 2000, "Thermal modeling of the metal cutting process, Part II. The temperature rise distribution due to the frictional heat source at the chip-tool interface", *Int. J. Mech. Sci.*, Vol. 43, pp. 57-88.
32. Komanduri, R. and Hou, Z.B., 2001, "Analysis of heat partition and temperature distribution in sliding systems", *Wear.*, Vol. 251, pp. 925-938.
33. Komanduri, R. and Hou, Z.B., 2001, "Thermal analysis of dry sleeve bearing – a comparison between analytical,

numerical (finite element), and experimental results”, *Tribol. Int.*, Vol. 34, pp. 145-160.