

اتصالات و واسط‌های حرارتی

- ❖ مقدمه
- ❖ انتقال حرارت در محل تماس سطوح
- ❖ پارامترهای مؤثر در میزان انتقال حرارت در محل تماس
- ❖ روش‌های اندازه‌گیری ضریب انتقال حرارت تماسی
- ❖ ابزارها و روش‌های انتقال حرارت
- ❖ روش‌های انتقال حرارت از قطعات الکترونیک به جعبه پوششی

1

اتصالات

مقدمه

❖ کنترل حرارت در قطعات الکترونیکی ماهواره‌ها

○ طراحی بوردها و قطعات الکترونیکی به گونه‌ای که حرارت تولید شده در آنها به صفحه اصلی منتقل گردد
(unit's mounting surface or Base Plate)

○ انتقال حرارت منتقل شده به صفحه اصلی از طریق هدایت به صفحه نصب در سازه ماهواره

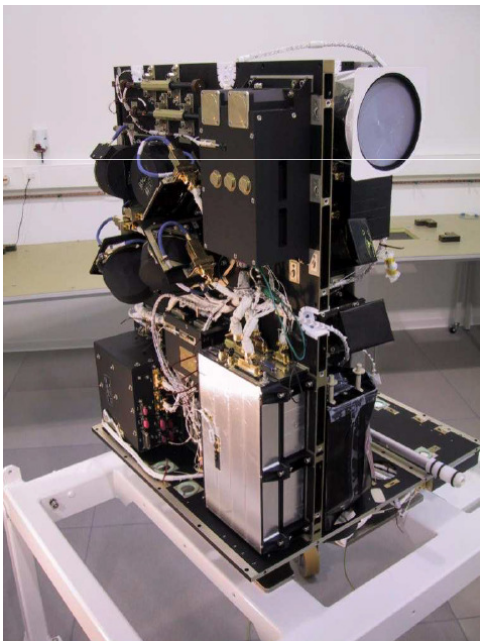
(spacecraft structure or mounting plate)

- انتقال حرارت تشعشی برای قطعات کوچک‌تر با اتلاف کم
(ناچیز بودن تشعشع در دماهای حدود ۵۰- الی ۱۱۰ درجه سانتی‌گراد)

○ ابعاد متداول جعبه‌های الکترونیک در ماهواره‌ها

100 x 150 mm تا 450 x 600 mm

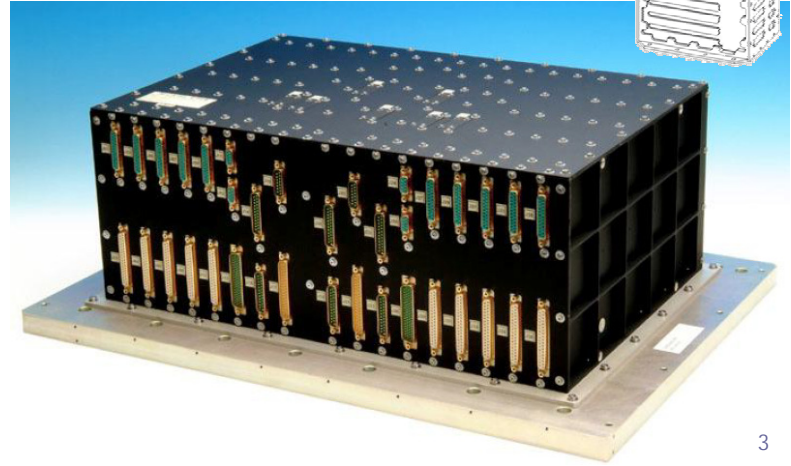
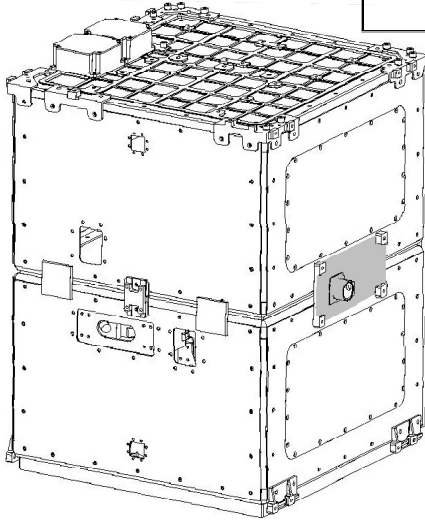
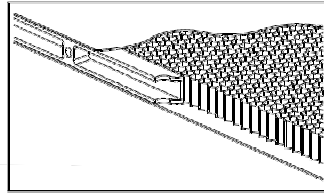
○ سطح توان تا 1000 W



2

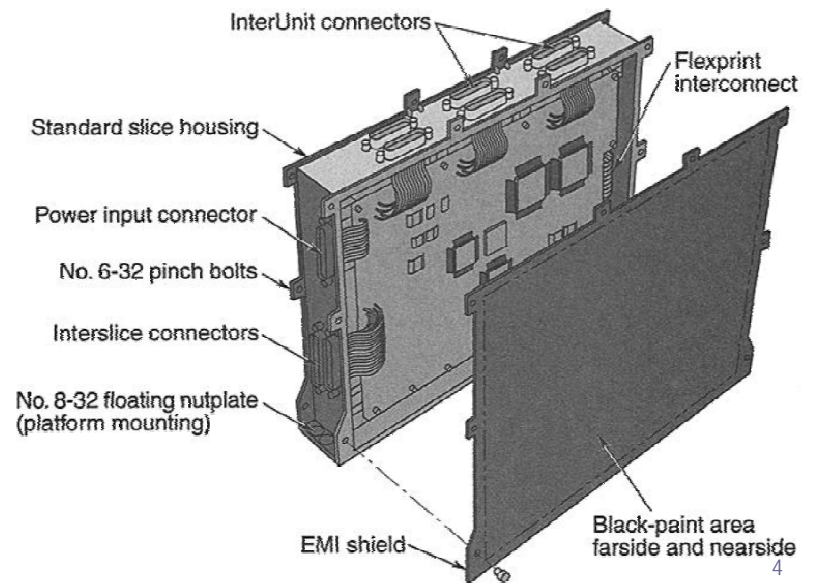
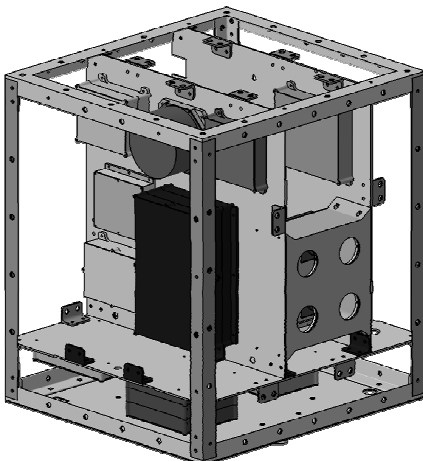
❖ انواع چیدمانی های سازه و قطعات

- ترکیب بندی یکپارچه و مجتمع
- انتقال حرارت بوردها به دیواره های جعبه و mp و سپس به صفحه نصب سازه bp



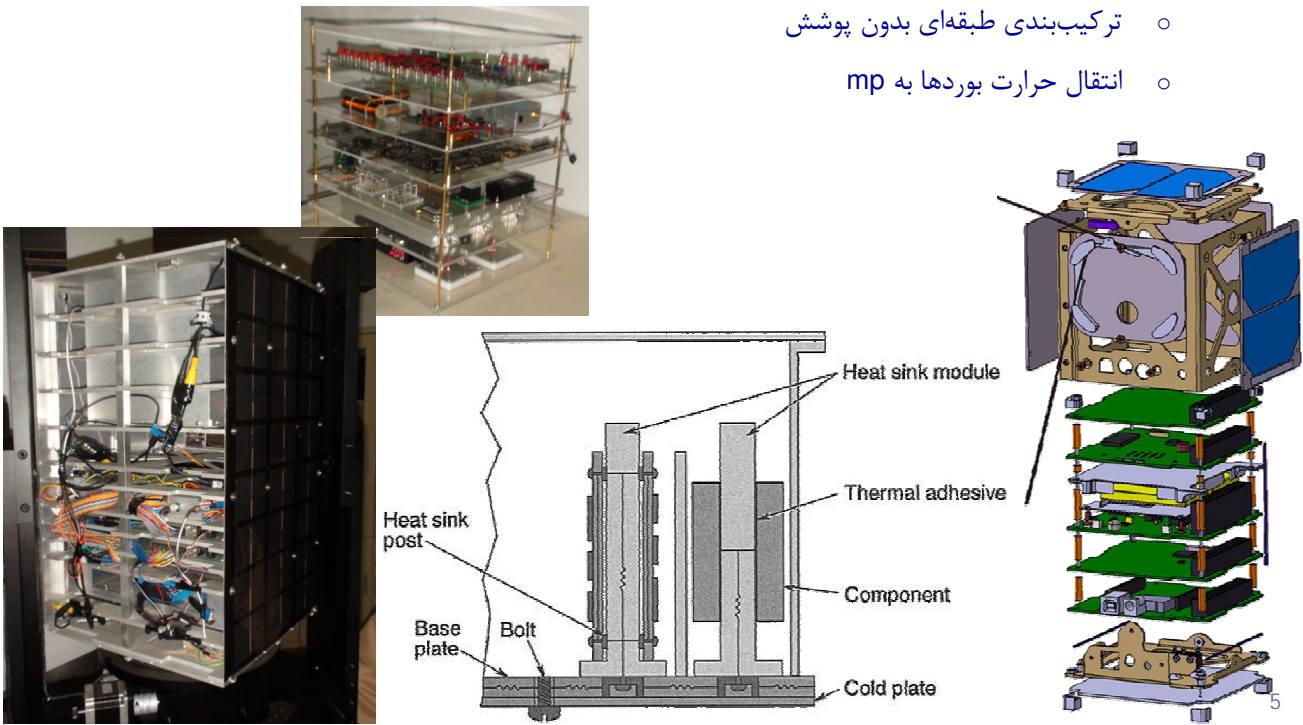
❖ انواع چیدمانی های سازه و قطعات

- ترکیب بندی مژولار
- انتقال حرارت بوردها به mp و سپس bp



❖ انواع چیدمانی های سازه و قطعات

- ترکیب بندی طبقه ای بدون پوشش
- انتقال حرارت بوردها به mp



ضریب انتقال حرارت هدایتی تاسی

❖ ضریب انتقال حرارت هدایتی یا مقاومت حرارتی در محل تماس دو سطح (contact conductance)

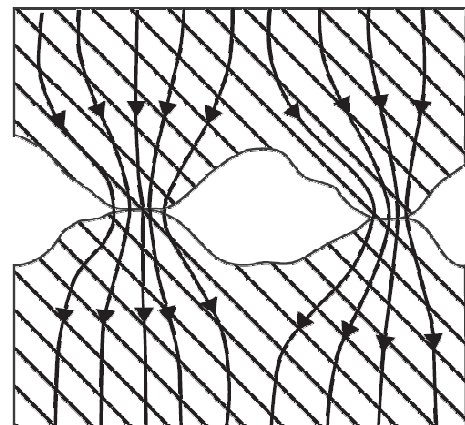
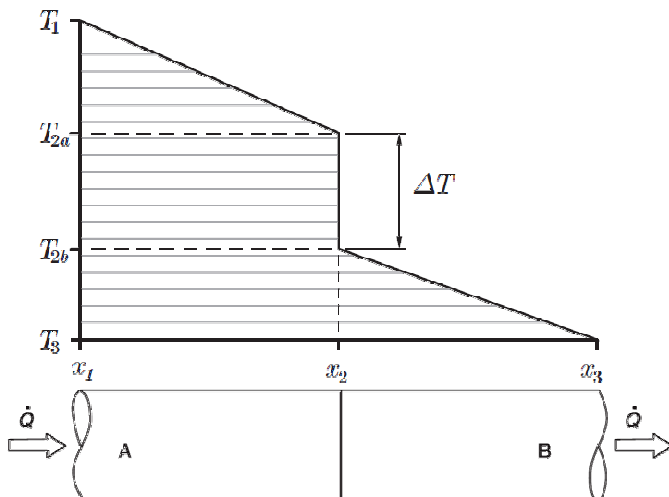
$$h_j = \frac{1}{R_j A} = \frac{q}{\Delta T}$$

- ضریب انتقال حرارت که با h (W/m²K) نشان داده می شود
- هدایت (conductance) که با C نشان داده می شود $C=hA$ (W/K)

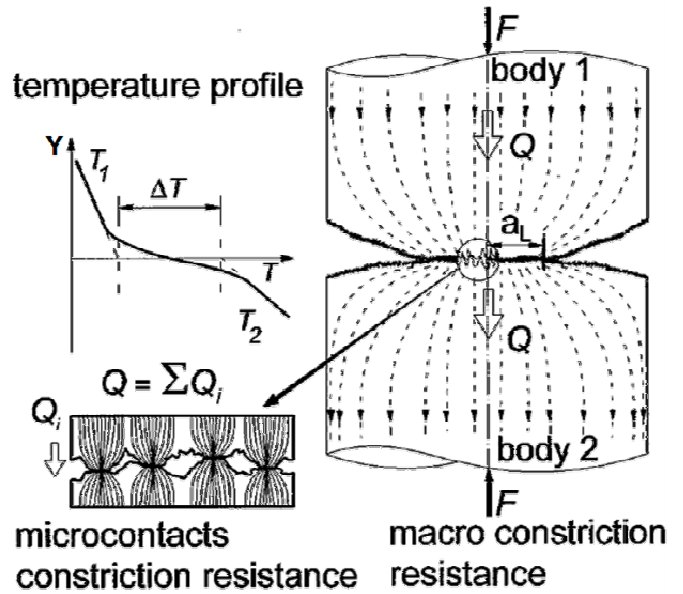
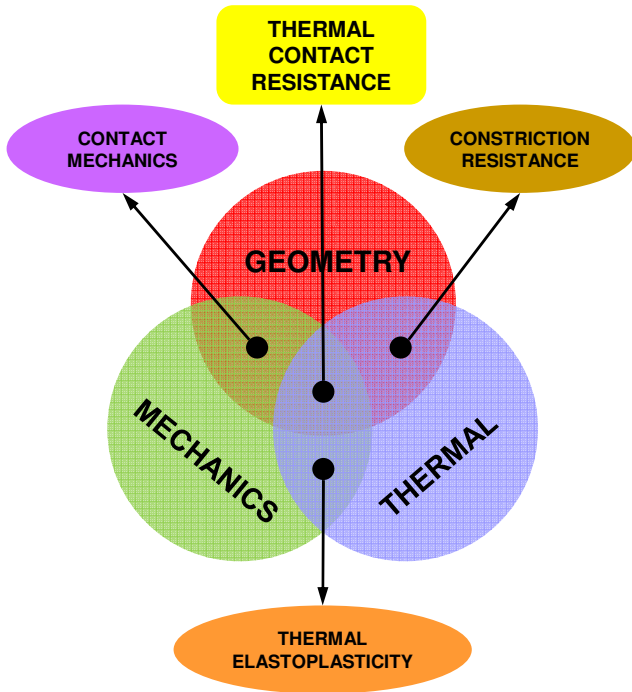
$$h_j = h_c + h_g + h_r$$

$$h_c = h_j = \frac{q}{\Delta T}$$

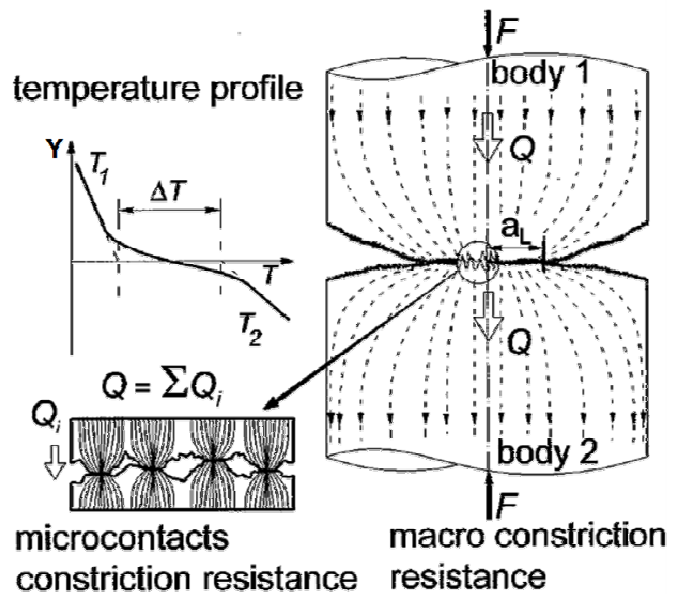
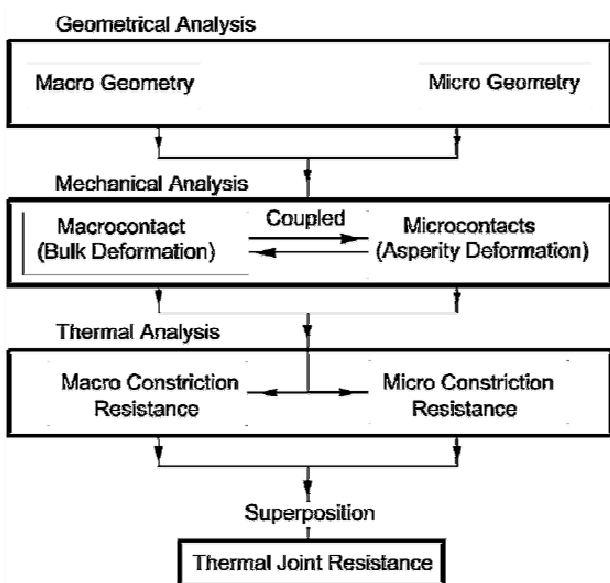
$$C_c = \frac{Q}{\Delta T}$$



❖ محاسبه ضریب انتقال حرارت تماسی (Thermal contact conductance)



❖ محاسبه ضریب انتقال حرارت تماسی (Thermal contact conductance)



ضرب انتقال حرارت هدایتی تماسی

اتصالات

❖ خواص و پارامترهای مؤثر در ضرب انتقال حرارت تماسی

- پارامترهای هندسی سطح در محل تماس (Geometric parameters)
 - زبری سطح (Surface roughness) - Ra یا σ
 - صافی سطح (Flatness deviation) - FD
 - شیب برجستگی‌ها و زبری‌های سطح (Asperity slope) - m
- فشار بین دو سطح (Pressure) - P
- متوسط فاصله‌های خالی بین دو سطح (Gap thickness) - δ
- ضرب انتقال حرارت هدایتی دو سطح در تماس (Thermal conductivity) - k
- سختی سطح (Surface hardness) - Hc یا تنش تسلیم مواد در تماس (Yield strength) - Sy
- مدول الاستیسیته مواد در تماس (Modulus of elasticity) - E
- دمای متوسط در محل اتصال (Average temperature of the interface) - Tm
- ضرب خطی میزان انبساط مواد با دما (Linear coefficient of thermal expansion) - α
- ماده پرکننده بین دو سطح در تماس (Thermal Interface Material)

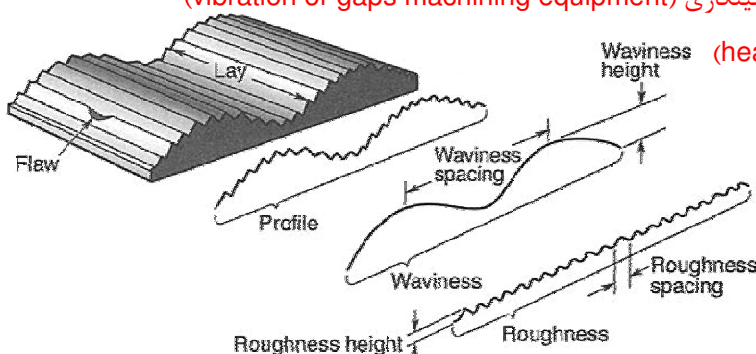
9

ضرب انتقال حرارت هدایتی تماسی

اتصالات

❖ پارامترهای هندسی سطح در محل تماس

- زبری سطح (Roughness) در مقیاس میکرو (microcontact)
 - ابزارهای برش (cutting tool)
 - قالب تزریق (extrusion die)
 - قالب ریخته‌گری (casting mold)
 - تراش سطح (grinding abrasive)
- صافی سطح (Flatness or waviness) در مقیاس ماکرو (macrocontact)
 - ارتعاشات و وقفه‌ها در فرآیند ماشینکاری (vibration or gaps machining equipment)
 - عملیات حرارتی (heat treatment)



10

ضریب انتقال حرارت هدایتی تماسی

اتصالات

❖ کاهش تعداد پارامترها با برقراری ارتباط بین پارامترها (correlations)

○ مدل Lambert and Fletcher

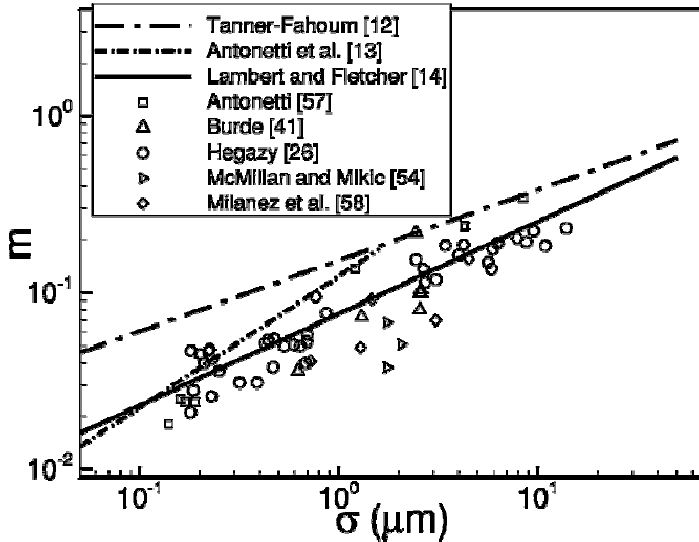
$$m = 0.076(\sigma \cdot 10^6)^{0.52}$$

○ مدل Tanner and Fahoum

$$m = 0.152(\sigma \cdot 10^6)^{0.4}$$

○ مدل Antonetti, White and Simons

$$m = 0.124\sigma^{0.743}, \sigma \leq 2.0\mu\text{m}$$



13

ضریب انتقال حرارت هدایتی تماسی

اتصالات

❖ تأثیر پارامترهای مختلف بر ضریب انتقال حرارت تماسی

○ استفاده از لایه‌های حرارتی

• انتقال حرارت هدایتی بالا

• قابلیت تغییر شکل بالا در اثر فشار کم

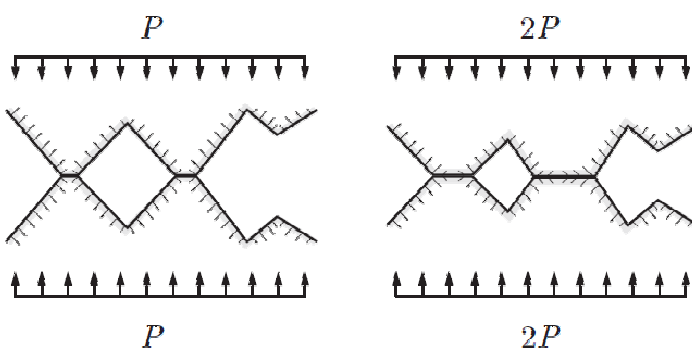
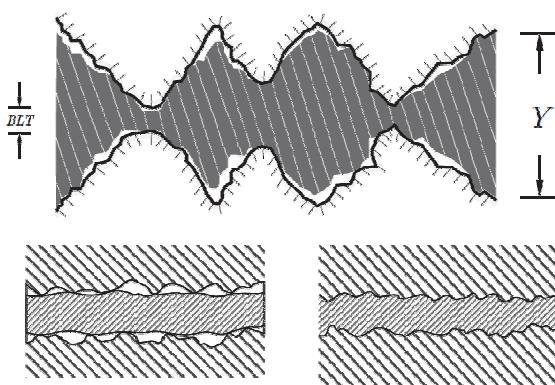
• ضخامت حداقلی

• عدم نشت به بیرون از محل تماس

• عملکرد پایدار و نامحدود (عدم تغییر خواص حرارتی)

• قابلیت اسمبلی راحت و دی‌اسمبلی

○ افزایش فشار بین دو سطح

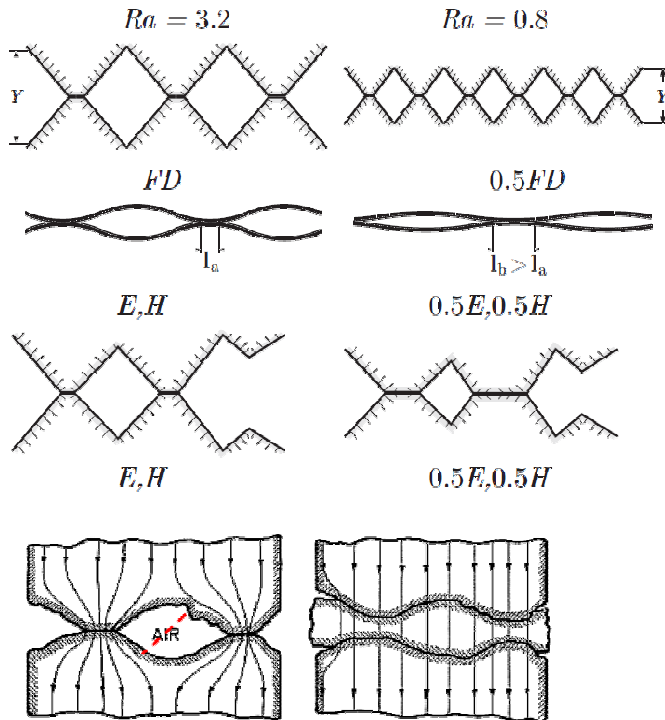


14

ضریب انتقال حرارت هدایتی تماسی

اتصالات

❖ تأثیر پارامترهای مختلف بر ضریب انتقال حرارت تماسی



○ زبری و صافی سطح

○ سختی سطح و مدول الاستیسیته

○ ماده پرکننده بین دو سطح تماسی

• لایه حرارتی

• هوا در محیط غیر خلاء

• بدون پرکننده در شرایط خلاء

15

ضریب انتقال حرارت هدایتی تماسی

اتصالات

❖ مدل‌های الاستیک (Elastic Models) برای ضریب انتقال حرارت تماسی

○ مدل Fletcher and Gyorog (۱۹۷۰)

$$h_c = \frac{k_s}{\delta_0} \left[5.22 \cdot 10^{-6} \frac{\delta_0}{r} + 0.036 \frac{P}{E} \alpha T_m r \right]^{0.56} \exp \left[170 \frac{P \alpha T_m r}{E \delta_0} \right]$$

$$\delta_0 = 5.194 \cdot 10^{-7} + 8.060 \cdot 10^{-2} s - 6.220 \cdot 10^{-2} s^2 + 2.108 \cdot 10^{-6} s^3$$

$$s = (FD + 2R_a)_{\text{rough}} - \frac{1}{2} (FD + 2R_a)_{\text{smooth}}$$

$$k_s = \frac{2k_1 k_2}{k_1 + k_2}$$

○ مدل Mikic (۱۹۷۴)

$$h_c = 1.55 \frac{k_s m_s}{\sigma_s} \left(\frac{P \sqrt{2}}{E' m_s} \right)^{0.94}$$

$$E' = \frac{E_1 E_2}{E_2 (1 - \nu_1^2) + E_1 (1 - \nu_2^2)}$$

16

❖ مدل‌های پلاستیک (Plastic Models) برای ضریب انتقال حرارت تماسی

○ مدل Cooper, Mikic and Yovanovich (۱۹۶۹)

$$h_c = 1.45 \frac{k_s m_s}{\sigma_s} \left(\frac{P}{H_c} \right)^{0.985}$$

• خطای مدل بین ۵۰ تا ۱۰۰٪

○ مدل Mikic (۱۹۷۴)

$$h_c = 1.13 \frac{k_s m_s}{\sigma_s} \left(\frac{P}{H_c} \right)^{0.94}$$

○ مدل آژانس فضایی اروپا (European Space Agency) (۲۰۱۰)

Material	Surface finish [μm]	Contact pressure [kPa]	Contact conductance [$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$]
Aluminum 2024-T3	0.152-1.65	13.8-2.41	114-738
Aluminum 2024-T4	0.305	317-6719	664-34600
Aluminum 2024-T4	0.203-1.27	1.24-8531	1180-21400
Aluminum 2024-T6	0.207-1.52	67-7870	1560-3230
Aluminum 2024-T6	0.076-0.228	1.38-138	284-1830
Aluminum 2024-T6	0.381-343	138-6547	340-17000

$$C_1 = h_c A$$

$$C_{tot} = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}}$$

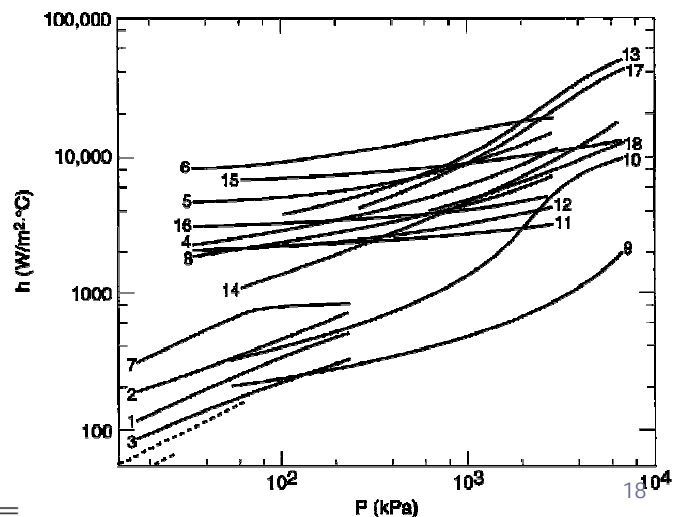
$$C_2 = 0.3 \text{ W/K}$$

❖ ضریب انتقال حرارتی تماسی برای مواد مختلف

بر حسب فشار در شرایط خلاء و غیر خلاء

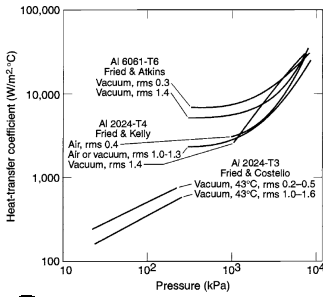
○ گردآوری شده توسط شیندلر از مراجع مختلف

Curve	Material Pair	RMS Surface Finish (μm)	Gap Material	Mean Contact Temp. ($^{\circ}\text{C}$)
1	Aluminum (2024-T3)	1.2-1.6	Vacuum (10^{-4} mm Hg)	43
2	Aluminum (2024-T3)	0.2-0.5	Vacuum (10^{-4} mm Hg)	43
3	Aluminum (2024-T3)	0.2-0.5 (wavy)	Vacuum (10^{-4} mm Hg)	43
4	Aluminum (75S-T6)	3.0	Air	93
5	Aluminum (75S-T6)	1.6	Air	93
6	Aluminum (75S-T6)	0.3	Air	93
7	Aluminum (2024-T3)	0.2 (wavy)	Lead foil (8 mil)	43
8	Aluminum (75S-T6)	3.0	Brass foil (1 mil)	93
9	Stainless (304)	1.1-1.5	Vacuum (10^{-4} mm Hg)	29
10	Stainless (304)	0.3-0.4	Vacuum (10^{-4} mm Hg)	29
11	Stainless (416)	2.5	Air	93
12	Stainless (416)	2.5	Brass foil (1 mil)	93
13	Magnesium (AZ-31B)	1.3-1.5 (oxidized)	Vacuum (10^{-4} mm Hg)	29
14	Magnesium (AZ-31B)	0.2-0.4 (oxidized)	Vacuum (10^{-4} mm Hg)	29
15	Copper (OFHC)	0.2	Vacuum (10^{-4} mm Hg)	46
16	Stainless/Aluminum	0.8/1.6	Air	93
17	Iron/Aluminum	—	Air	27
18	Tungsten/Graphite	—	Air	132



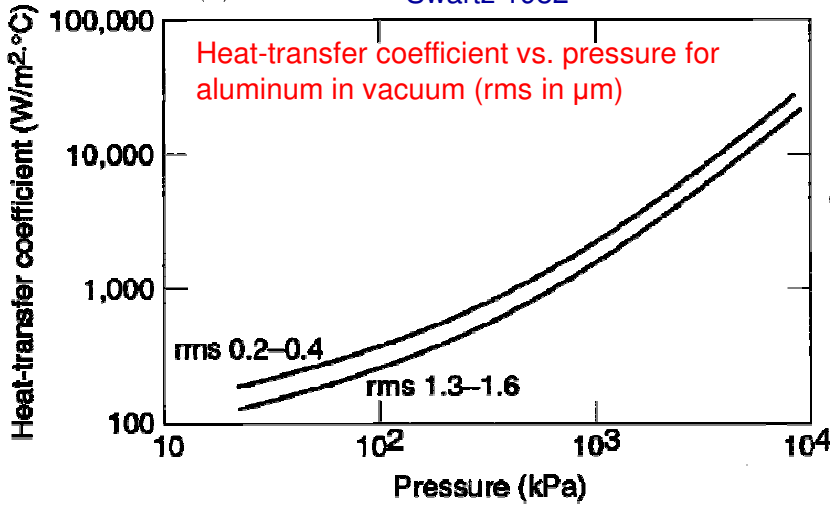
ضریب انتقال حرارت هدایتی تماسی

اتصالات

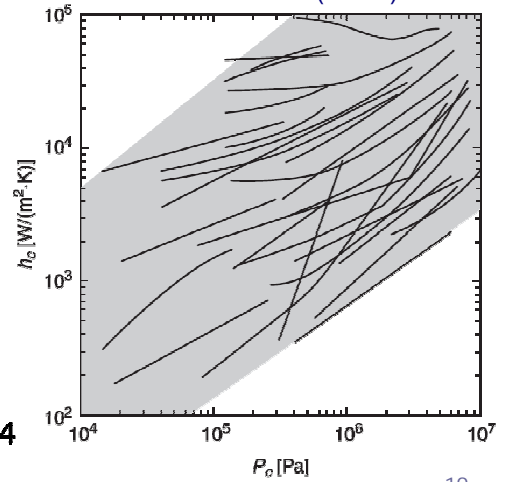


❖ ضریب انتقال حرارتی تماسی سطوح آلومینیومی بر حسب فشار در شرایط خلاء
 ○ مدل عمومی برای گستره وسیعی از فشارها با استفاده از داده‌های تست مراجع مختلف

Swartz 1982



Yovanovich (2005)



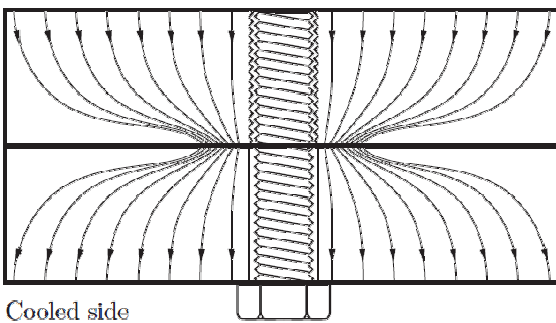
19

ضریب انتقال حرارت هدایتی تماسی

اتصالات

❖ ضریب انتقال حرارت تماسی در اتصالات پیچی

Heated side



Cooled side

○ عدم یکنواختی توزیع فشار در محل اتصال

○ تخمین فشار محل اتصال از نیروی گشتاور بستن پیچ

• تخمین میزان نیروی محوری از گشتاور بستن پیچ

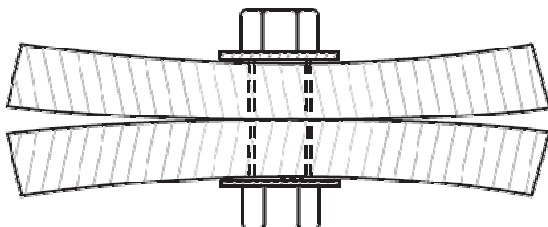
• تخمین توزیع نیرو یا فشار در محل اتصال

$$F_{ax} = \frac{\tau_{tot}}{0.16P + 0.58\mu d_2 + \mu_b r_m}$$

$$r_m = \frac{d_s + d_h}{4}$$

$$\mu = \mu_b = 0.28$$

RUAG Space estimates



20

ضریب انتقال حرارت هدایتی تماسی

اتصالات

❖ ضریب انتقال حرارت تماسی در اتصالات پیچی

$$x = \frac{d_s}{2} + z \tan \alpha$$

$$P(r, z) = Ar^4 + Br^3 + Cr^2 + D + E$$

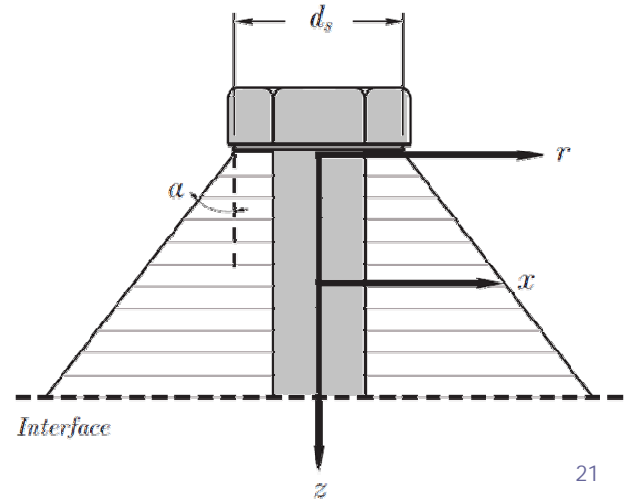
$$A(z) = \frac{\frac{15}{\pi} \left(\frac{2}{d}\right)^6 F}{-\left(\frac{2x}{d}\right)^6 + 2\left(\frac{2x}{d}\right)^5 + 5\left(\frac{2x}{d}\right)^4 - 20\left(\frac{2x}{d}\right)^3 + 25\left(\frac{2x}{d}\right)^2 - 14\left(\frac{2x}{d}\right) + 3}$$

$$B(z) = -\frac{4}{3} \left(\frac{4x}{d} + 1\right) \frac{d}{2} A(z)$$

$$C(z) = \frac{4x}{d} \left(\frac{2x}{d} + 2\right) \left(\frac{d}{2}\right)^2 A(z)$$

$$D(z) = -2x^2 d A(z)$$

$$E(z) = -\frac{1}{3} \left(\frac{2x}{d}\right)^3 \left(\frac{2x}{d} - 4\right) \left(\frac{d}{2}\right)^4 A(z)$$



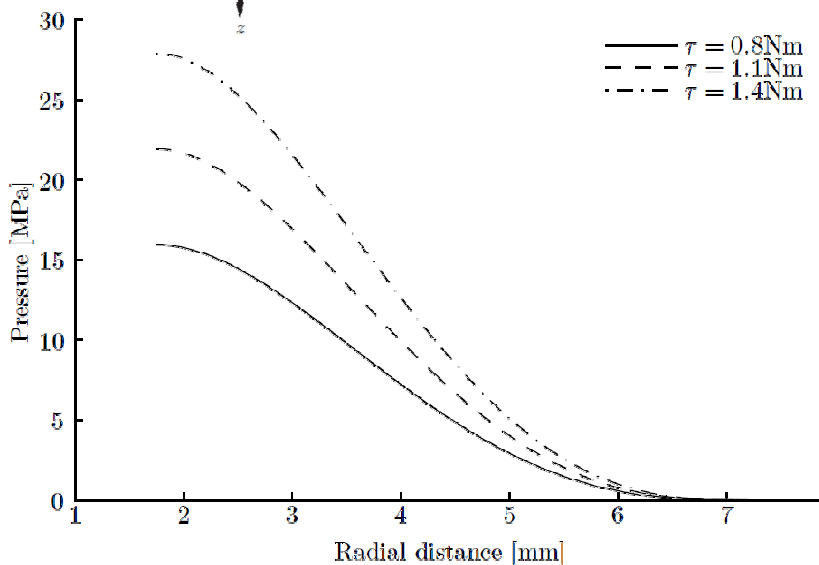
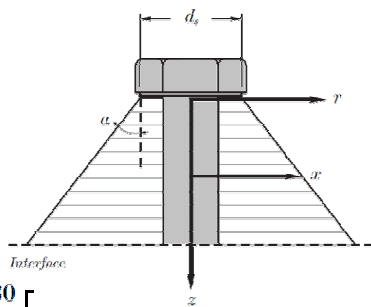
21

ضریب انتقال حرارت هدایتی تماسی

اتصالات

❖ ضریب انتقال حرارت تماسی در اتصالات پیچی

○ توزیع فشار در محل تماس



$$P = 0.5 \text{ mm}$$

$$r_m = 2.38 \text{ mm}$$

$$d_2 = 2.67 \text{ mm}$$

$$\mu = \mu_b = 0.28$$

$$d_s = 6.0 \text{ mm}$$

$$z = 5 \text{ mm}$$

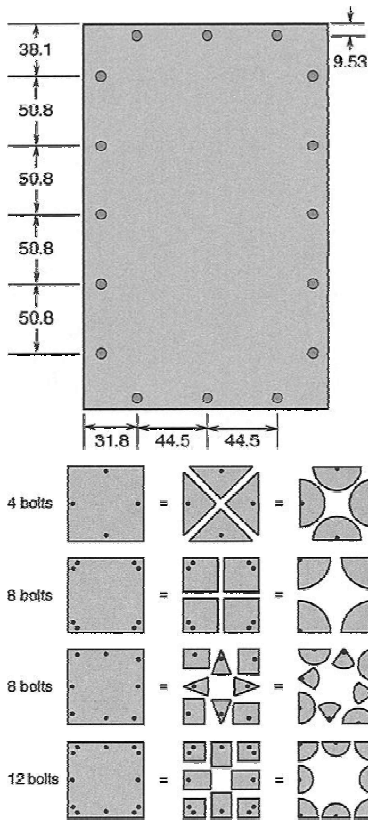
$$\alpha = 40^\circ$$

$$d = 3 \text{ mm}$$

22

ضریب انتقال حرارت هدایتی تماسی

اتصالات



❖ نتایج اندازه‌گیری ضریب انتقال حرارت تماسی در اتصالات پیچی

○ نتایج Welch & Ruttner بدون لایه

Torque (N·m)	Temperature (°C)	Average Heat-Transfer Coefficients (W/m ² ·K)
1.13	-34	284
1.13	71	369
2.26	-34	329
2.26	71	397

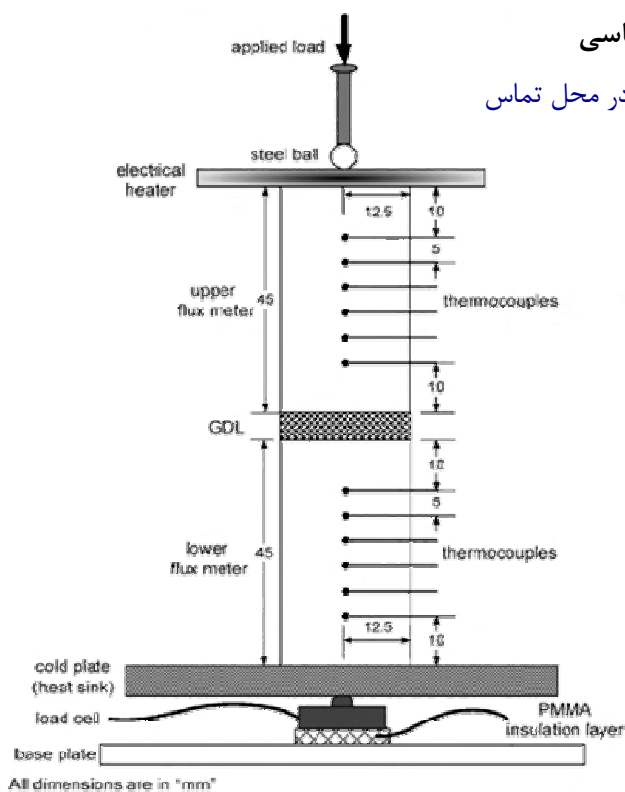
❖ پارامترهای مؤثر در ضریب انتقال حرارت تماسی اتصالات پیچی

- تعداد، اندازه و شکل پیچ‌ها
- گشتاور بستن پیچ‌ها
- آرایش قرارگیری پیچ‌ها
- ضخامت سطوح در تماس

23

ضریب انتقال حرارت هدایتی تماسی

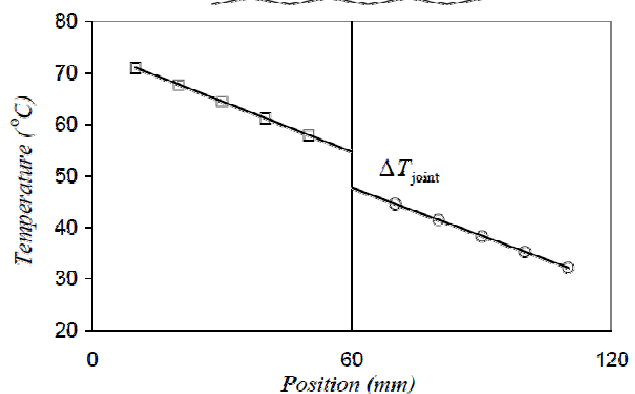
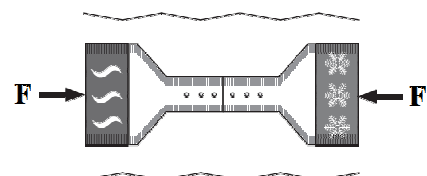
اتصالات



❖ روش‌های تست اندازه‌گیری ضریب انتقال حرارت تماسی

○ اندازه‌گیری ضریب انتقال حرارت با فشار یکنواخت در محل تماس

• استفاده از Cylinder Experiment setup



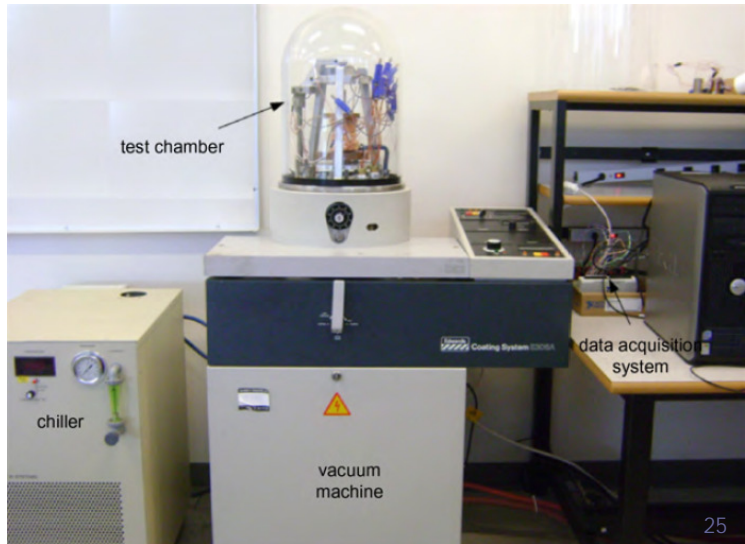
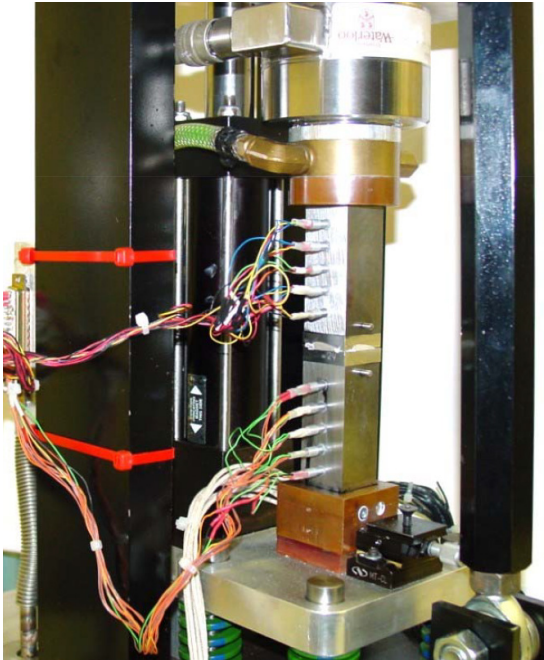
□ Lower (heater) flux meter ○ Upper (cold plate) flux meter

24

❖ روش‌های تست اندازه‌گیری ضرب انتقال حرارت تماسی

○ اندازه‌گیری ضرب انتقال حرارت با فشار یکنواخت در محل تماس

- تست در فشار اتمسفر
- تست در شرایط خلاء

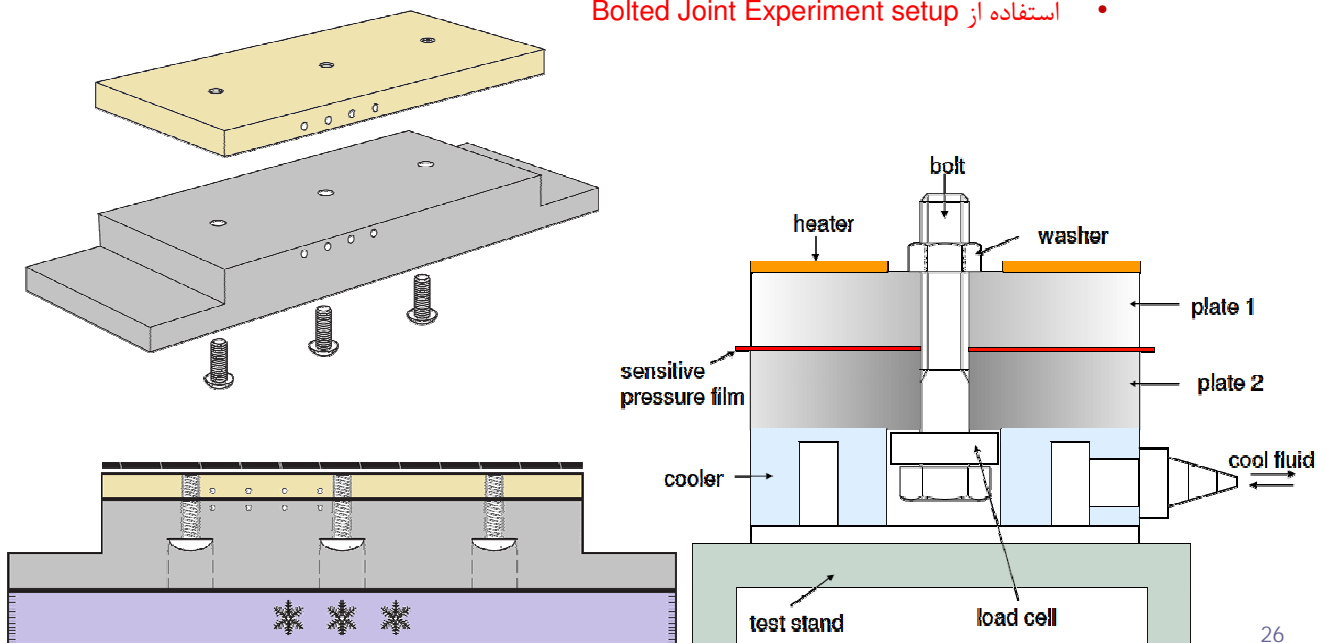


25

❖ روش‌های تست اندازه‌گیری ضرب انتقال حرارت تماسی

○ اندازه‌گیری ضرب انتقال حرارت در اتصالات پیچی با فشار غیریکنواخت در محل تماس

- استفاده از Bolted Joint Experiment setup



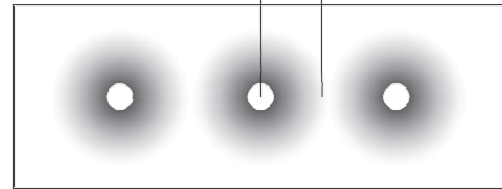
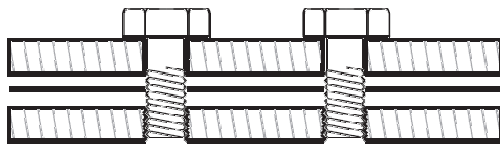
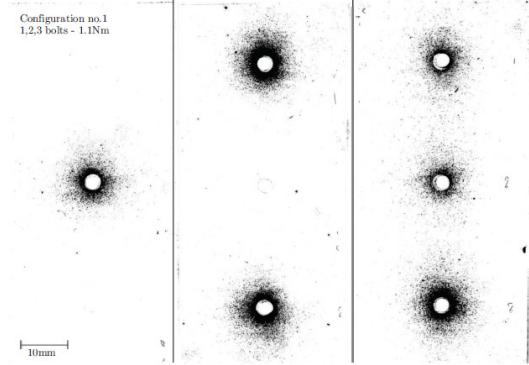
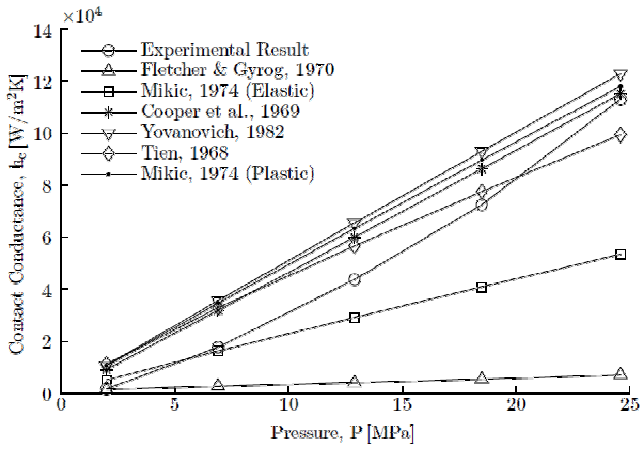
26

ضریب انتقال حرارت هدایتی تماسی

اتصالات

روش‌های تست اندازه‌گیری ضریب انتقال حرارت تماسی

اندازه‌گیری ضریب انتقال حرارت در اتصالات پیچی با فشار غیریکنواخت در محل تماس



27

روش‌های افزایش انتقال حرارت در داخل ماهواره

اتصالات

روش‌های افزایش انتقال حرارت در داخل ماهواره

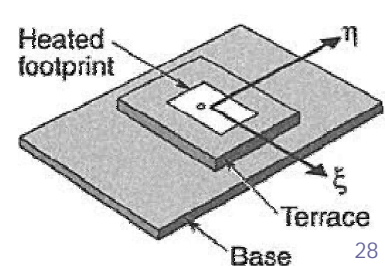
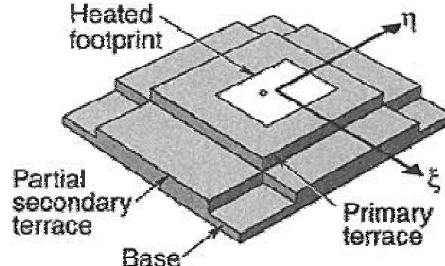
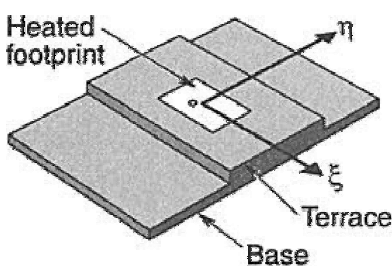
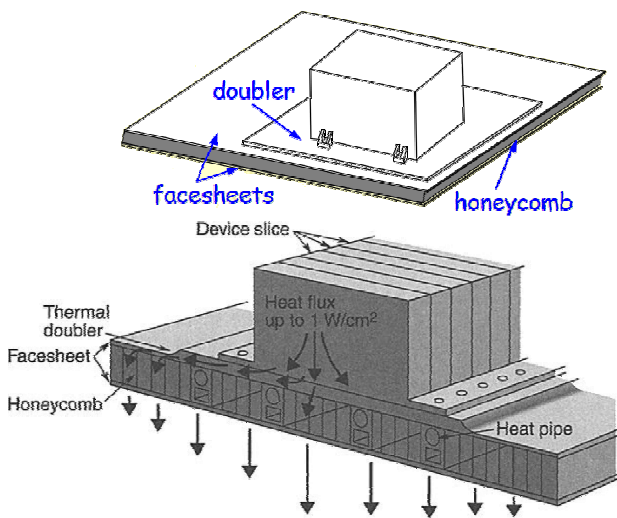
استفاده از مواد دارای رسانایی بالاتر در سازه

- آلیاژهای آلومینیوم 120 – 170 W/m.K
- آلیاژهای تیتانیوم 7 – 15 W/m.K
- استیل 10 – 40 W/m.K

استفاده از دابلرها

انتشار حرارت در سطح صفحه اصلی

استفاده از هیت پایپ در داخل سازه

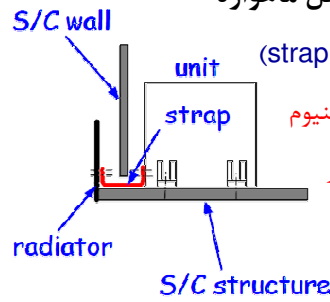
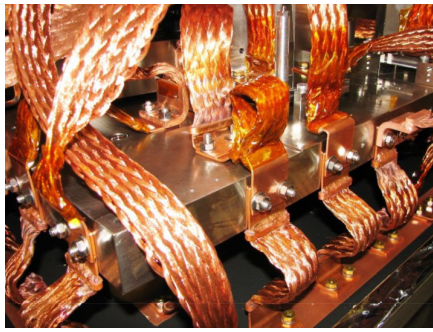


28

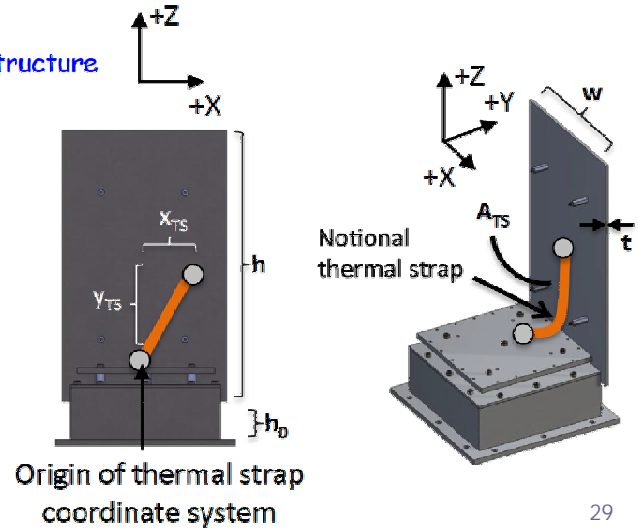
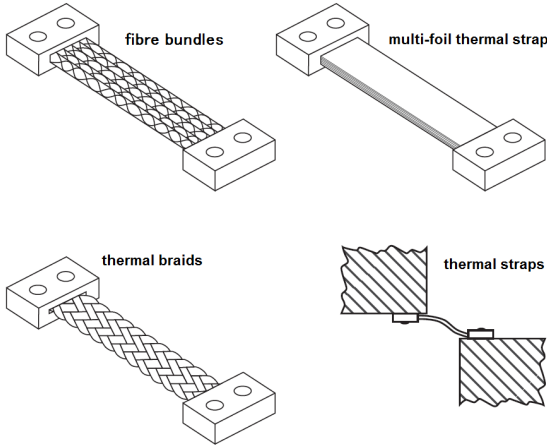
روش‌های افزایش انتقال حرارت در داخل ماهواره

اتصالات

روش‌های افزایش انتقال حرارت در داخل ماهواره



- استفاده از تسمه‌ها و نوارهای فلزی (strap)
- استفاده از مس و آلیاژهای آلومینیوم
- طول‌های کمتر از ۱۰ سانتی‌متر



29

روش‌های افزایش انتقال حرارت در داخل ماهواره

اتصالات

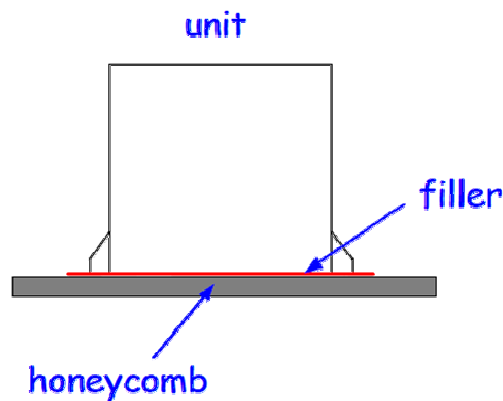
روش‌های افزایش انتقال حرارت در داخل ماهواره

- استفاده از لایه‌ها و پدهای حرارتی (Thermal Filler)

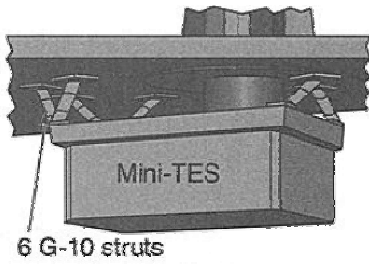
- معروف‌ترین پدهای حرارتی

- لایه حرارتی T-Pli
- لایه حرارتی Cho-Therm (ترکیب سیلیکونی با نیتريد بور تقویت شده با فایبرگلاس)
- لایه حرارتی Sigraflex (ورقه گرافیتی)

ضریب افزایش انتقال حرارت (E)	نام تجاری ماده پرکننده
4.54	Eupec
4.52	G641
4.49	Rhodorsil 340
4.08	P12
3.75	DC 340
3.59	Thermafoil 8843
3.35	Crayotherm 8845
2.77	Crayotherm 8844
2.31	Unial
1.52	Kerafol 90/20
1.50	Crayofoil 8846
1.36	Aluminium foil
1.19	Kerafol 86/50
1.14	Furon C675
1.07	Furon C695
1.0	Bare junction
0.85	Kerafol 86/30
0.84	CHO-Therm 1678
0.83	CHO-Therm 1674



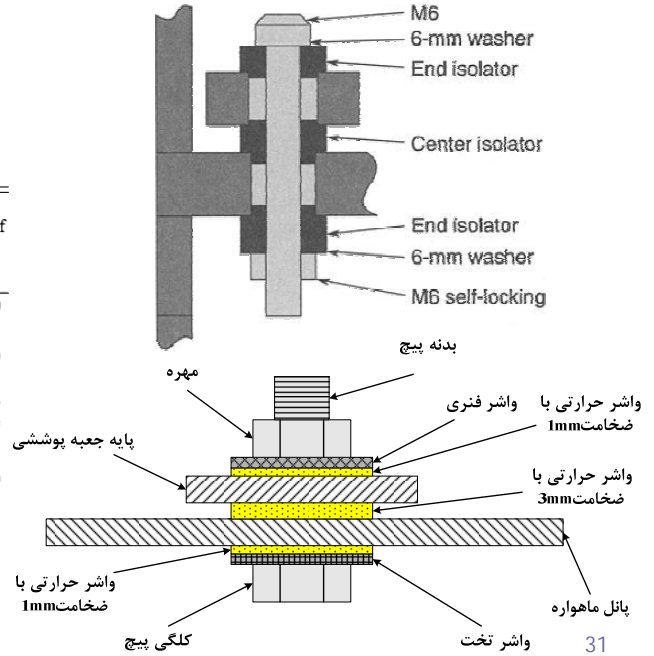
30



❖ دی کوپل حرارتی یا عایق سازی اجزاء

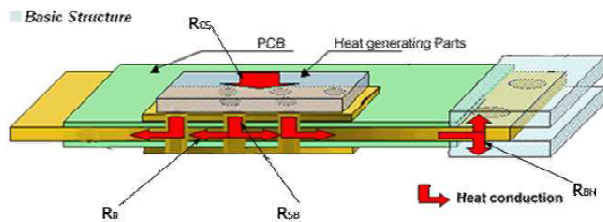
○ استفاده از عایق حرارتی برای ایجاد فاصله بین سطوح

Material	Density (kg/m ³)	Young's Modulus (GPa)	Strength (MPa)	Coeff. of Thermal Expansion (μm/m/K)	Thermal Conductivity (W/m·K)	Thermal Resistance of Column ^b (K/W)
Titanium alloy Ti-6Al-4V	4400	110	825 ^c	9.4	6-8	125-170
Stainless steel 304L	7800	193	170 ^c	17.2	12-16	60-80
Graphite epoxy (Generic)	1580	190 ^d 8 ^e	525 ^{d,f} 60 ^{e,f}	-0.5 ^d 29 ^e	53 ^d 2 ^e	18.9 ^d 500 ^e
Polyether-etherketone (PEEK)	1320	3.6	92 ^c	47	0.25	4000
Fiberglass-epoxy (CCO-BL)	2000	—	900 ^f	—	< 1-2	> 500-1000
S-glass epoxy	1860	54	1450 ^f	10.8 ^d 36 ^e	0.42	2380



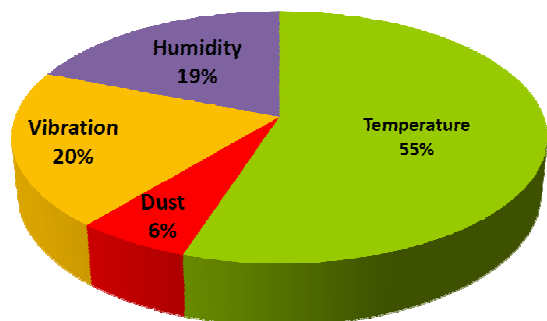
انتقال حرارت بوردهای الکترونیک

❖ مسیرهای انتقال حرارت تولید شده در قطعه تا جعبه پوششی



- انتقال حرارت تولید شده در قطعه به سطح آن
- انتقال حرارت از سطح قطعه به سطح بورد
- انتقال حرارت در بورد به تا محل اتصالات بورد
- انتقال حرارت از اتصالات بورد به جعبه پوششی
- انتقال حرارت تابشی از سطوح قطعه به جعبه پوششی
- انتقال حرارت از مسیرهای مصنوعی (بطور مستقیم از سطح قطعه به جعبه پوششی)

علامت اختصاری	نام مقاومت حرارتی
R_{CS}	مقاومت حرارتی قطعه به سطح خارجی پکیج
R_{SB}	مقاومت حرارتی سطح پکیج به بورد
R_E	مقاومت حرارتی بورد
R_{BH}	مقاومت حرارتی اتصال بورد به جعبه پوششی
R_R	مقاومت حرارتی تابشی



انتقال حرارت بوردهای الکترونیک

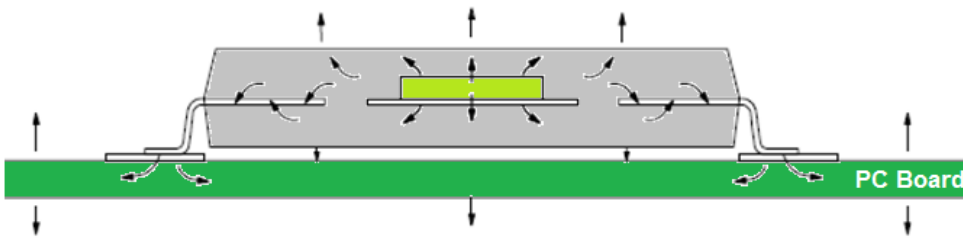
اتصالات

❖ انتقال حرارت تولید شده در قطعه به سطح آن



- انواع پوشش‌های محافظ قطعه
- سیلیکون (قابل استفاده در شرایط فضا)
- سرامیک (شرایط محیطی سخت)
- پلاستیک (قیمت پایین)

پلاستیک	سرامیک	سیلیکون	
0.2-0.5	5	150	ضریب انتقال حرارت هدایتی (W/m.K)
2600	2500	2200	چگالی (Kg/m ³)



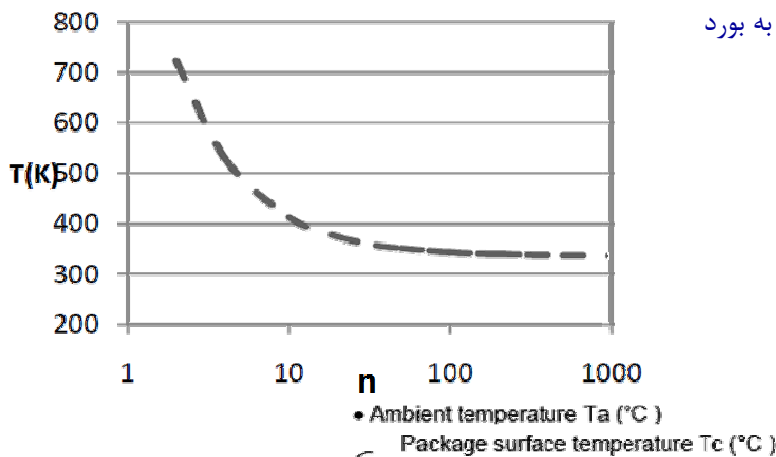
33

انتقال حرارت بوردهای الکترونیک

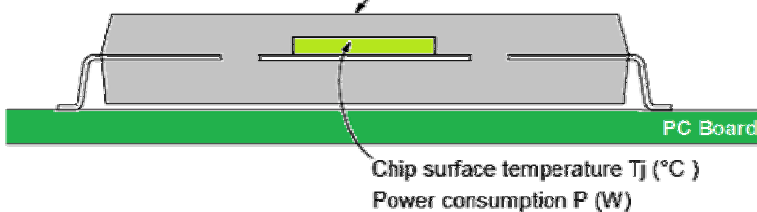
اتصالات

❖ انتقال حرارت از سطح قطعه به سطح مورد

$$R_{leads} = \frac{L_{lead}}{k_{leads} A_{leads} n}$$



- انتقال حرارت از طریق پایه‌ها
- انتقال حرارت از طریق اتصال قطعه به مورد
- پرکردن سطح مورد با لایه‌ای از فوم
- افزایش ظرفیت حرارتی
- یکنواخت سازی دما



R_{leads}	مقاومت حرارتی پایه‌ها
L_{leads}	طول پایه
k_{leads}	ضریب انتقال حرارت پایه
A_{leads}	مساحت سطح مقطع یک پایه
n	تعداد پایه

34

انتقال حرارت بوردهای الکترونیک

اتصالات

❖ انتقال حرارت از طریق اتصال قطعه به بورد

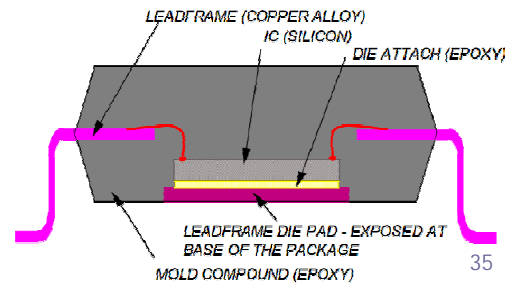
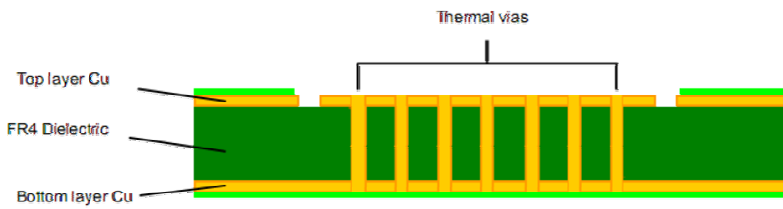
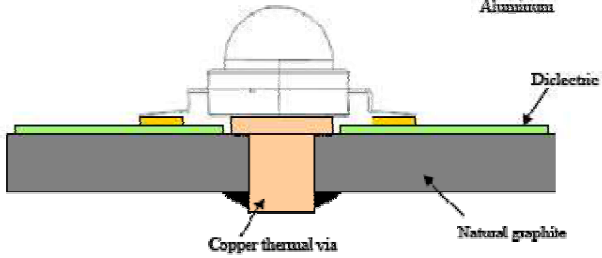
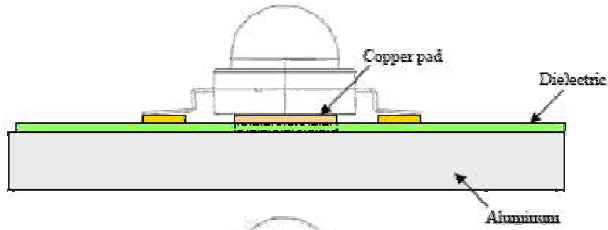
○ استفاده از سطح فلزی در زیر قطعه

- بدنه قطعه نباید هادی الکتریکی باشد
- احتمال اتصال کوتاه بین پایه‌ها و لایه فلزی
- عدم تأثیر لایه فلزی بر قطعه به لحاظ نویز و ...

○ استفاده از لایه‌های حرارتی

○ استفاده از مسی‌های مصنوعی (سوراخ‌های عمودی)

برای انتقال حرارت به لایه‌های داخلی بورد



35

انتقال حرارت بوردهای الکترونیک

اتصالات

❖ توزیع حرارت در بورد (انتقال حرارت در بورد تا محل اتصالات بورد به جعبه پوششی)

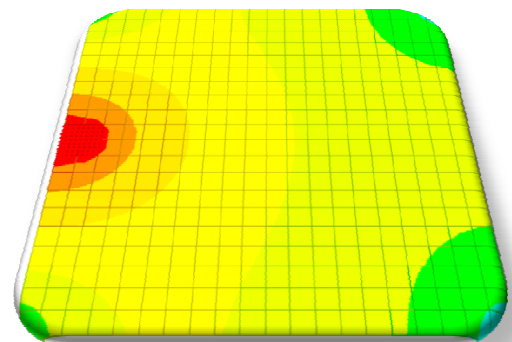
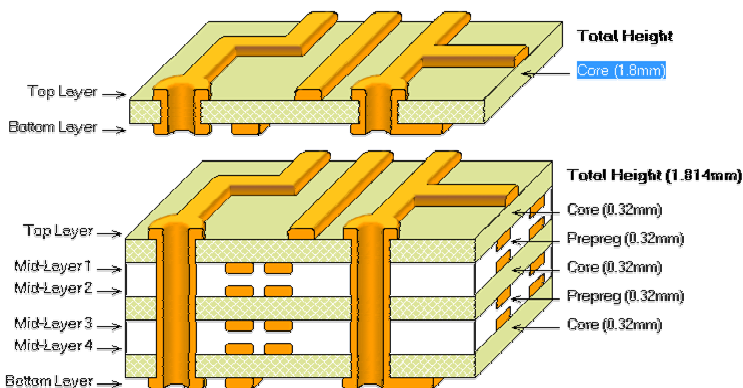
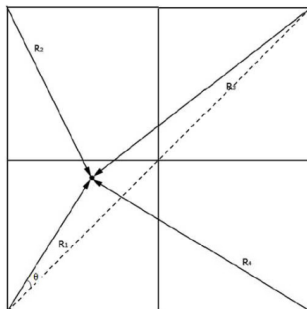
○ انتخاب محل قطعه

• مقاومت حرارتی کمتر در فواصل نزدیک‌تر به محل اتصالات

○ تعداد لایه‌های بورد

• افزایش ضریب انتقال حرارت هدایتی معادل بورد با افزایش

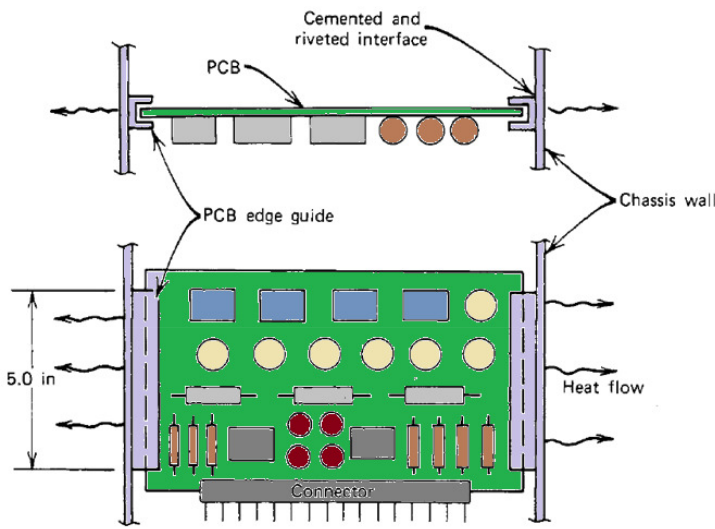
تعداد لایه‌های مسی



36

انتقال حرارت بوردهای الکترونیک

اتصالات

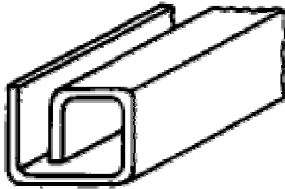


❖ انتقال حرارت از بورد به جعبه پوششی

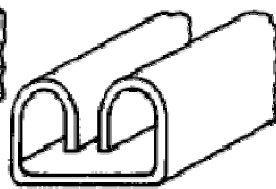
- اتصال از طریق پیچ
- اتصال از طریق گوشه‌های بورد
- اتصال از طریق لبه‌های بورد

- اتصال G شکل
- اتصال B شکل
- اتصال U شکل
- اتصال clamp

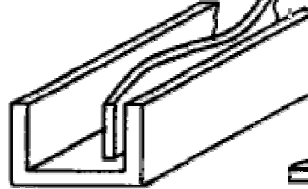
G Shape



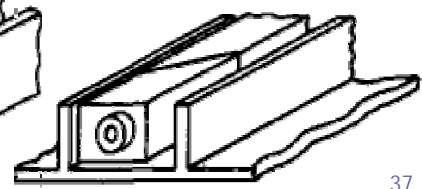
B Shape



U Shape



Clamp Shape



37

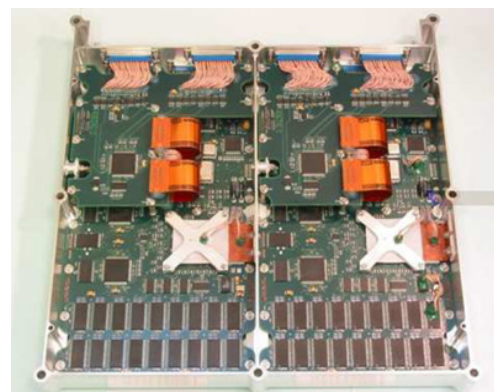
انتقال حرارت بوردهای الکترونیک

اتصالات

❖ انتقال حرارت از مسیبرهای مصنوعی

- برای قطعات دارای اتلاف حرارتی بالا که روش‌های معمول پاسخ‌گوی کنترل دمای آنها نمی‌باشد
- اتصال خود قطعه به دیواره جعبه پوششی
- اتصال قطعه به جعبه پوششی از طریق چاه حرارتی

- مقاومت در برابر تنش‌های سازه‌ای
- مقاومت در برابر تنش‌های حرارتی
- عدم تأثیر بر کارکرد قطعه



38

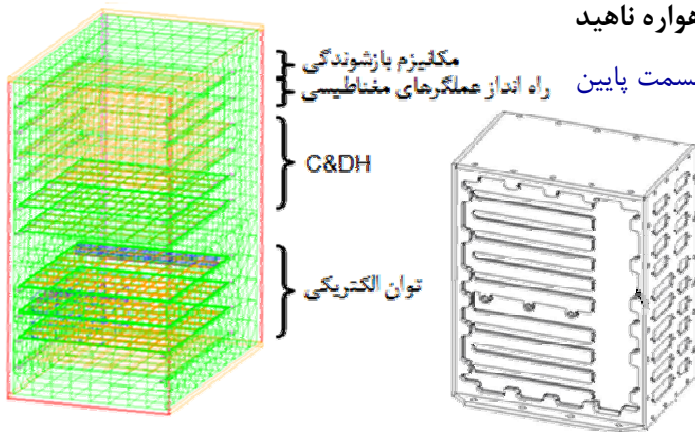
انتقال حرارت بوردهای الکترونیک

اتصالات

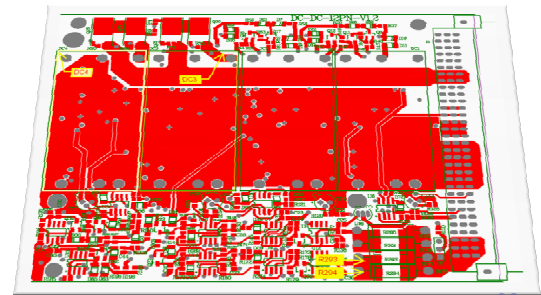
❖ طراحی حرارتی بوردهای تبدیل توان در ماهواره ناهید

○ شامل ۶ برد در قسمت بالا و ۴ برد در قسمت پایین

• سه برد ۶ لایه در قسمت پایین



نام قطعه	حداکثر توان تلفاتی Watt	دمای عملکردی °C	طول × عرض × ارتفاع mm × mm × mm
مبدل ولتاژ	۴/۴	-۴۰ تا ۵۷	۲۵/۴ × ۵۰/۸ × ۱۱
مقاومت ۱	۰/۲۷	-۴۰ تا ۸۵	۱۰ × ۴ × ۴
مقاومت ۲	۰/۲۷	-۴۰ تا ۸۵	۱۰ × ۴ × ۴
ترانزیستور ۱	۰/۱۵	-۴۰ تا ۸۵	۱۰ × ۶/۵ × ۳
ترانزیستور ۲	۰/۱۵	-۴۰ تا ۸۵	۱۰ × ۶/۵ × ۳



انتقال حرارت بوردهای الکترونیک

اتصالات

❖ طراحی حرارتی بوردهای تبدیل توان در ماهواره ناهید

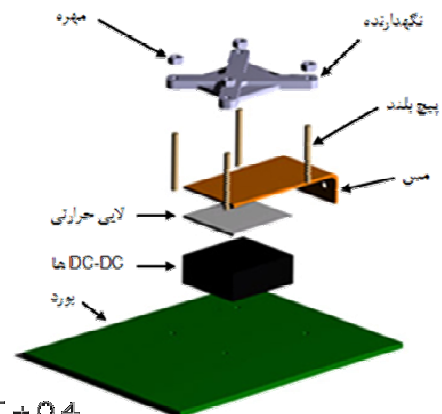
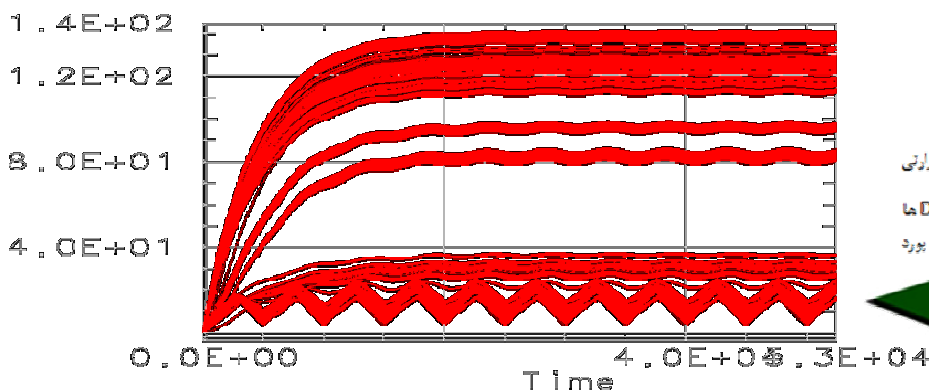
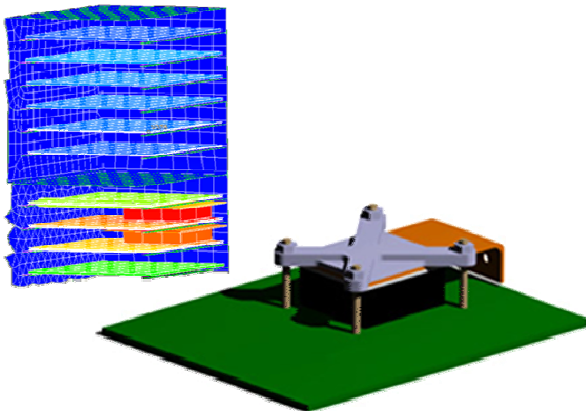
ناهید

○ افزایش دمای قطعه تا حدود ۱۴۰ درجه سانتی گراد

○ راه حل پیشنهادی برای کنترل دما

• استفاده از چاه حرارتی از جنس مس و اتصال آن

به بدنه جعبه پوششی



❖ طراحی حرارتی بوردهای تبدیل توان در ماهواره ناهید

○ بررسی اثر ابعاد و ضخامت چاه حرارتی (ورق مسی) بر روی دمای قطعه

b (mm)	DC-DC Temp. (°C)
1	87 ~ 95
5	42 ~ 48
10	32 ~ 39
20	26 ~ 34
30	24 ~ 32
40	22 ~ 31
50	22 ~ 30

t (mm)	DC-DC Temp. (°C)
1	32 ~ 39
2	32 ~ 38
3	31 ~ 37

