# AIRCRAFT MATERIALS

**Sources of Metals** - بیشتر عناصر طبیعت فلزات هستند و از بین آنها تعداد معدودی بـه صـورت خالص در طبیعت یافت میگردند که به آنها **Noble Metals** می گوینـد کـه طـلا و نقـره و طـلای سـفید از آن جمله اند. در عمل کلیه فلزات بصورت ترکیبات شیمیائی در معادن یافت می گردند. و به یک رسـوب معدنـی کـه دارای مقدار کافی فلز بطوری که استخراج آن را مقرون به صرفه نماید اصطلاحـاً سـنگ معـدن «ore» گوینـد . آلومینیوم‌را می توان فراوانترین فلز طبیعت برشـمرد بطوریکـهٔ بیـش از ۷٪ قشـر «**Crust**» کـره زمیـن را شـامل می شود و مهمترین سنگ معدن آن **Bauxite** ( **AL2O3 : 2H2O** ) نـام دارد. منـیزیم (**magnesium**) از نظـر فراوانی هشتمین فلز است که حدود ۲٪ قشـر کـرهٔ زمیـن و ۴٪ دریاهـا را تشـکیل میدهـد. آهـن (**Iron**) بعـد از آلومینیوم‌از نظر فراوانی دومین فلز است که حدود ۵٪ پوستهٔ کره زمیـن را تشـکیل مـی دهـد و سـنگ معدنهـای معـروف آن عبـارتند از : **Haematite** (**Fe2o3**) و **Magnetite** (**Fe3o4**) و **Pyrite** (**Fes2**) . بـه عقیـده دانشمندان هسته مذاب کره زمین بطور اساسی از آهن تشکیل شده است.

تیتانیوم (**Titanium**) نیز فلز فراوانی است که تقریباً ۰/۶٪ پوستهٔ کرهٔ زمین را تشـکیل مـی دهـد لیکـن چون به طور سطحی گسترش یافته استخراج و تحصیل آن مشکل است. روسیه عمده ترین تولید کننده تیتانیوم در جهان است. بعضی فلزات دیگر همچون منگنز (**Manganese**) و مولبدینوم (**Molybdenum**) و تنگستن (**Tungsten**) ، **Vanadium** ، **Cadmium** ، **Nickel** ، **Chrome** و غیره نیـز در طبیعـت بـه مقـدار نسـبتاً کمی یافت می گردند که کاربرد آنها بیشتر به صورت مخلوط شدن با سایر فلزات و ایجاد آلیاژهای مناسب است .

**nature of metals & alloys** – تمام فلزات به استثنای جیوه جامد هستند و غالباً چکش خـوار **Malleable** و **Ductile** بوده و هادی الکتریسیته خوبی می باشند .

آلیاژها از دو یا چند فلز تشکیل یافته و دارای مشخصات فلزی هستند و از نظر اقتصادی و صنعتی اهمیت بیشتری نسبت به فلزات خالص دارند. برای تولید آنها فلزات مـورد نظـر را ذوب و بـا نسـبت مناسـب بـا یکدیگـر مخلوط می نمایند .

**Cermets** – به آلیاژهای حاصل از سرامیک و فلزات اطلاق می شود که خصوصیات مطلوب سرامیک و فلزات را در خود یکجا داشته و برای کاربردهای با درجه حرارت زیاد همچون موتورهای جت و راکت که در آنها

سختی فلزات همراه با مقاومت در مقابل درجه حرارت زیاد سرامیک به عنوان یک ماده واحد مورد نیاز است مورد استفاده خوبی دارند .

**Allmuinum alloys** – به طوری که در آتیه خواهیم دید چون آلومینیوم خالص استحکام چندانی ندارد ولی در عوض بسیار سبک است.آنرا با فلزات دیگر همچون مس ، منیزیم ، منگنز ، سیلیکان و روی مخلوط کرده و آلیاژهای متعددی بوجود می آید که هر یک کاربرد مخصوص خود را دارند. بطور کلی آلیاژهای آلومینیوم به دو صورت خشکه (**Cast**) و نرم (**Wrought**) یافت می شوند .

**Steel alloys** – لازم به توضیح نیست که خود فولاد آلیاژ است که از آهن و کربن به میزان کمتر از ۱/۷٪ تشکیل شده است . حال با مخلوط کردن فولاد با فلزات دیگر انواع و اقسام آلیاژهای عالی با کاربردهای متنوع تهیه شده است . فلزات اصلی مورد استفاده برای این منظور (**alloying elements**) عبارتند از: نیکل ، کروم ، مولبدینوم ، وانادیوم و منگنز . یک گروه بخصوص از آلیاژهای فولاد که به فولاد ضدزنگ (**Stainless Steel**) موسومند دارای درصد زیادی نیکل و کروم بوده ، مقاومت خوبی در مقابل حرارت و **Corrosion** داشته و از استحکام مناسبی نیز برخوردار هستند.

**Titanium alloys** – تیتانیوم هم به صورت خالص و هم به شکل آلیاژ دارای خصوصیات پر ارزشی است و آلومینیوم با نسبت ۳ تا ۷ درصد به عنوان **main alloy element** با آن مخلوط می گردد ضمن اینکه فلزات دیگری همچون منگنز و کروم و وانادیوم و مولبدینوم و آهن نیز به مقدار کم برای تولید آلیاژهای آن بکار می آیند .

**Nickel base alloys** – این آلیاژها تا حدود ۸۰٪ از نیکل تشکیل می شوند و بقیه آن می تواند کروم و مولبدینوم و آهن باشد و به علت استحکام و دوامشان(**durability**) تحت شرایط حرارت زیاد در قسمتهای داغ موتور جت مورد استفاده قرار می گیرند . **inconel** و **monel** دو آلیاژ معروف نیکل هستند .

**Cobalt base alloys** – آلیاژهائی که تا حدود ۵۰٪ آنها را کبالت تشکیل میدهند در مقابل حرارت زیاد و **corrosion** مقاومت بسیار خوبی دارند . سایر فلزات آلیاژگر عبارت از کرم ، نیکل ، تنگستن ، و مولبدینوم می باشد . یکی از معروفترین این آلیاژها **stellite** نام دارد که در سوپاپ دود موتور پیستونی مصرف دارد و متشکل از کروم ، کوبالت ، وانادیوم و مولبدینوم است .

# Mechanical Properties of Metals خصوصیات مکانیکی فلزات

از نظر خصوصیات مکانیکی فلزات با واژه هائی برخورد می کنیم که به ترتیب اقدام به تشریح آنها می نمائیم.

۱- **سختی Hardness**: به خاصیت مقاومت در مقابل فرورفتگی و نفوذ (**penetration**) و تغییر شکل دائم (**permanent distortion**) گویند . این خاصیت در فلزات از طریق **hamering** و **rolling** (نورد) و امثالهم قابل افزایش است. در مورد فولاد و بعضی از آلیاژهای آلومینیوم بطوریکه در آتیه مفصلاً خواهیم دید این خاصیت از طریق **heat - treatment** قابل افزایش است .

۲- **شکنندگی و نژدی Brittleness** : این خاصیت عبارت از مقاومت در مقابل تغییری در موقعیت نسبی مولکولها نسبت به یکدیگر و یا تمایل به شکستن بدون تغییر شکل است . شکنندگی و سختی با یکدیگر رابطه نزدیکی دارند و مواد سخت شکننده تر از مواد نرم می باشند . در ساختمان هواپیما سعی می شود حتی المقدور از استفاده از مواد **brittle** احتراز به عمل آید .

۳- **چکش خواری Malleability** : این خاصیت به فلزات اجازه و امکان می دهد بدون گسیختن و گسستن (**rupture**) تغییر شکل دائم بدهند و این خصیصه اجازه و امکان ساخت **sheets** و **bars** و **forgings** و نیز ساخت قطعات از طریق **bending** (خمش) و **hammering** را می دهد . این خاصیت درست در نقطه مقابل **brittleness** قرار دارد .

۴- **Ductility** : این خاصیت را می توان مفتول شوندگی نامید و از آن در ساخت **wires** و **tubing** استفاده می شود .

۵- **Elasticity** : به توانائی رجعت به وضعیت اولیه بعد از برطرف شدن نیرو را گویند . امروزه در ساختمان هواپیماهای مدرن استفاده زیادی از این خاصیت می شود مثلاً **wingtip** هواپیمای ۷۴۷ به مقدار زیادی قابلیت بازی دارد . هر فلزی دارای **elastic limit** است که بیشتر از آن نمی توان بدان اعمال نیرو کرد والاّ باعث تغییر شکل دائم خواهد شد .

۶- **Stress** : به مقاومت داخلی ( **internal resistance** ) یک فلز یا ماده در مقابل تغییر شکل گویند.

۷- **Strain** : وقتی یک ماده در معرض **Stress** قرار می گیرد ممکن است تغییر طول دهد . مقدار تغییر طول در واحد طول را **Strain** گویند .

$$\text{Strain} = \frac{\text{change in size}}{\text{original size}}$$

۸- **Elastic limit** : بیشترین تنش کششی ( **tensile stress** ) که یک ماده می تواند بدون تغییر شکل دائم (**deformation**) تحمل کند را گویند .

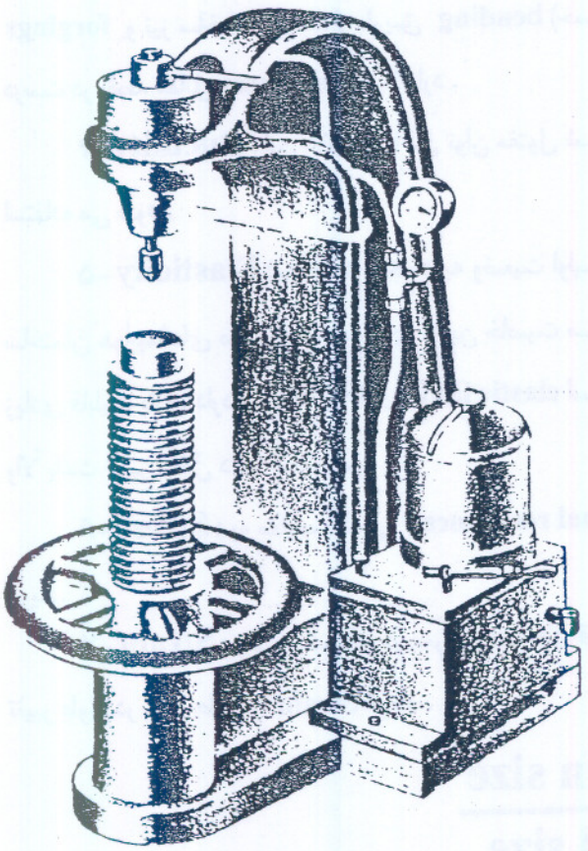
۹- **Yield point** : یک ماده وقتی به **Elastic limit** میرسد بعد از آن بدون اینکه نیروی اعمال شده افزایش یابد به افزایش طول ادامه می دهد و در چنین حالتی می گویند به **Yield point** رسیده است و در شرف رسیدن به **braeking** (**fracture point** ) است .

۱۰- **Modulus of Elasticity** : این ضریب را با **E** نشان داده و تعریف آن چنین است :

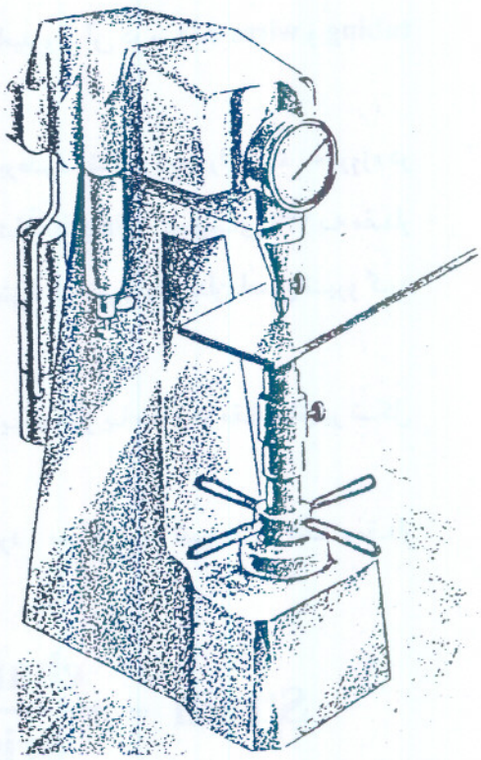
$$E = \frac{\text{Unit stress}}{\text{Unit strain}}$$

اگر **load** وارده چنان است که از **Elastic limit** تجاوزنشده است در اینصورت نسبت بین **stress** و **strain**مقدار ثابتی است که همانطوریکه گفتیم این نسبت را با **E** نشان می دهند .

**Hardness test** - بطور کلی از چهار متد برای تعیین سختی فلزات استفاده می شود که سه متد **brinell** و **rockwell** و **vickers** منوط به فرورفتگی (**impression**) حاصله در قطعه تحت آزمون توسط یک ساچمه فولادی یا مخروط الماسه بوده در حالیکه متد **scleroscope** از جهش (**rebound** ) یک چکش کوچک با نوک الماسه که از فاصله و ارتفاع معینی بر قطعه تحت آزمون افکنده می شود برای تعیین سختی سود می جوید .



*Brinell hardness tester.*



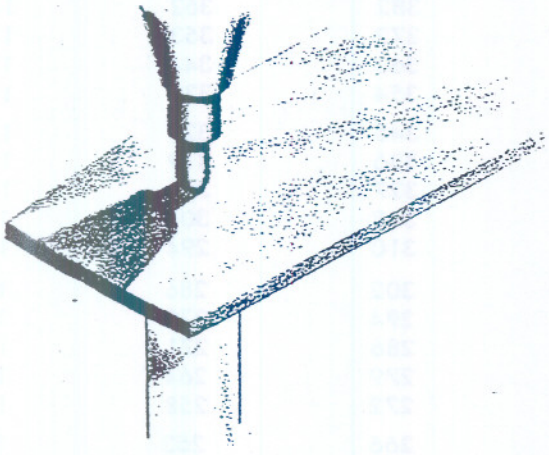
*Rockwell hardness tester.*

### آزمایش برینل

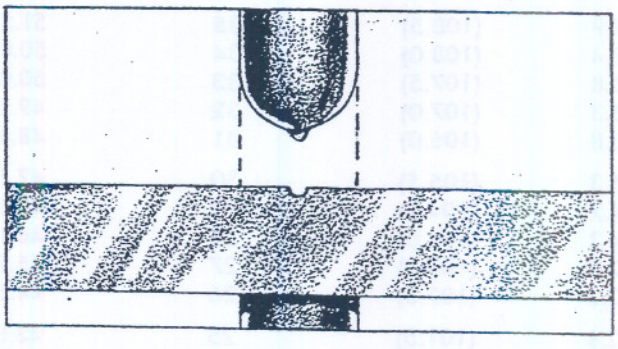
سختی سنج برینل طبق تصویردستگاهی است که بطور معمول برای تست قطعات آلیاژآلومینیوم ریختهگری، آهنگری وشمش قبل ازتراشکاری بکارمیرود. آزمایش ازطریق فشردن یک ساچمه فولادی باقطرمعین برروی قطعه، تحت فشارمعین ومشخص صورت میپذیرد. سه مقدارفشار متمایزبرای قطعات نرم، آهنی وغیرآهنی بکارگرفته میشود. درانتهای آزمایش پهنای حفرهحاصله بوسیله ساچمه فولادی توسط میکروسکوپ اندازهگیری شدهوازطریق مقایسه آن بایک جدول،استحکام کششی (Tensile Strength) ماده تعیین میگردد.

### آزمایش راکول

سختی سنج راکول طبق تصویر دستگاه دیگری است که برای آزمایش سختی فلزات بکاررفته وعملکردآن شبیه روش برینل است زیراکه آزمایش ازطریق فشردن یک نوک الماسه ویایک ساچمه بااندازه ثابت تحت فشارمعین برروی فلزصورت می پذیرد. منتها دراینجا عمق حفره حاصله بروی قطعه تحت آزمایش مستقیما" برروی نشان دهنده خوانده شده وسپس باجدول مقایسه می گردد.



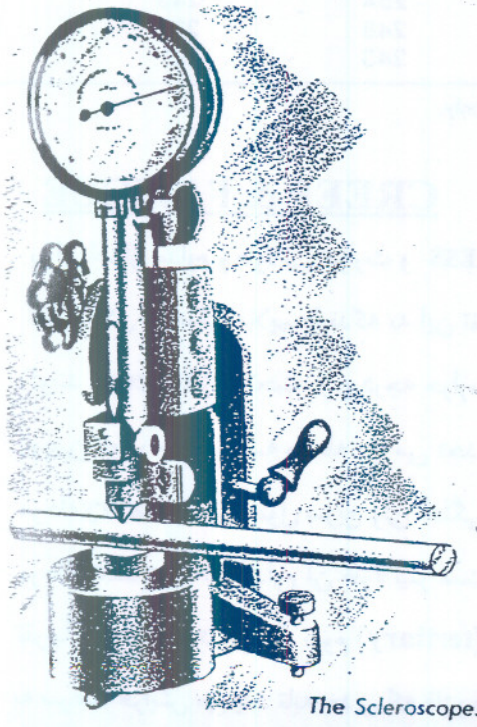
Forcing the steel ball into the surface of metal.



Position of material being tested for hardness.

### آزمایش سلرسکوپ

این سختی سنج دستگاه دیگری برای آزمایش سختی فلزات است که تست خود را نه ازطریق اندازهگیری سایز فرورفتگی حاصله بلکه جهش (Rebound) انجام میدهد بدینطریق که دارای یک ساچمه سرالماسه است کهازطریق یک لوله شیشهای برروی قطعه تحت آزمایش. فروافکنده شدهومقدار جهش باز گشتی ساچمه اندازهگرفته شدهوسپس مقاومت مترادف با آن ازجدول خوانده میشود.



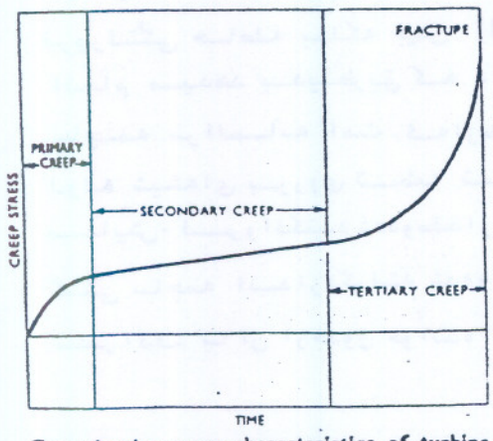
The Scleroscope.

**Rockwell, Brinell, and Vickers hardness values**

| Rockwell hardness number | | | | Vickers hardness number, diamond-pyramid penetrator | Brinell hardness number, 3000-kg load, 10-mm standard ball | Approx. tensile strength, 1000 psi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| A scale 60-kg load, brale penetrator | B scale 100-kg load, 1/16-in. diam. ball | C scale 150-kg load, brale penetrator | D scale 100-kg load, brale penetrator | | | |
| 78.5 | | 55 | 66.9 | 595 | | 287 |
| 78.0 | | 54 | 66.1 | 577 | | 278 |
| 77.4 | | 53 | 65.4 | 560 | | 269 |
| 76.8 | | 52 | 64.6 | 544 | 500 | 262 |
| 76.3 | | 51 | 63.8 | 528 | 487 | 253 |
| 75.9 | | 50 | 63.1 | 513 | 475 | 245 |
| 75.2 | | 49 | 62.1 | 498 | 464 | 239 |
| 74.7 | | 48 | 61.4 | 484 | 451 | 232 |
| 74.1 | | 47 | 60.8 | 471 | 442 | 225 |
| 73.6 | | 46 | 60.0 | 458 | 432 | 219 |
| 73.1 | | 45 | 59.2 | 446 | 421 | 212 |
| 72.5 | | 44 | 58.5 | 434 | 409 | 206 |
| 72.0 | | 43 | 57.7 | 423 | 400 | 201 |
| 71.5 | | 42 | 56.9 | 412 | 390 | 196 |
| 70.9 | | 41 | 56.2 | 402 | 381 | 191 |
| 70.4 | | 40 | 55.4 | 392 | 371 | 186 |
| 69.9 | | 39 | 54.6 | 382 | 362 | 181 |
| 69.4 | | 38 | 53.8 | 372 | 353 | 176 |
| 68.9 | | 37 | 53.1 | 363 | 344 | 172 |
| 68.4 | (109.0)* | 36 | 52.3 | 354 | 336 | 168 |
| 67.9 | (108.5) | 35 | 51.5 | 345 | 327 | 163 |
| 67.4 | (108.0) | 34 | 50.8 | 336 | 319 | 159 |
| 66.8 | (107.5) | 33 | 50.0 | 327 | 311 | 154 |
| 66.3 | (107.0) | 32 | 49.2 | 318 | 301 | 150 |
| 65.8 | (106.0) | 31 | 48.4 | 310 | 294 | 146 |
| 65.3 | (105.5) | 30 | 47.7 | 302 | 286 | 142 |
| 64.7 | (104.5) | 29 | 47.0 | 294 | 279 | 138 |
| 64.3 | (104.0) | 28 | 46.1 | 286 | 271 | 134 |
| 63.8 | (103.0) | 27 | 45.2 | 279 | 264 | 131 |
| 63.3 | (102.5) | 26 | 44.6 | 272 | 258 | 127 |
| 62.8 | (101.5) | 25 | 43.8 | 266 | 253 | 124 |
| 62.4 | (101.0) | 24 | 43.1 | 260 | 247 | 121 |
| 62.0 | 100.0 | 23 | 42.1 | 254 | 243 | 118 |
| 61.5 | 99.0 | 22 | 41.6 | 248 | 237 | 115 |
| 61.0 | 98.5 | 21 | 40.9 | 243 | 231 | 113 |

*Values in parentheses are beyond normal range and are given for information only.

# CREEP & FATIGUE



Curve showing creep characteristics of turbine blades

بر اثر اعمال مداوم و طولانی حرارت و STRESS فلزات میل به تغییر شکل با آهنگی ملایم دارندکه به این تغییر شکل **creep** گویند . **creep** فلزات تحت بار و درجه حرارت ثابت ( همچون توربین موتور جت ) در سه مرحله رخ می دهد . طبق تصویر در مرحله **primary** تغییر طول سریع ولی آهنگی کاهنده دارد . در مرحله **secondary** که تداوم آن طولانیتر است آهنگ تغییر طول تقریباً ثابت است . در مرحلهٔ سوم (**tertiary**) آهنگ تغییر طول به سرعت افزایش می یابد تابه حدی که فلزو قطعه دچار **failure**

میگردد . در موتورهای جت که ابعاد دقیق از اهمیت خاصی برخوردار است فلزات و آلیاژهائی باید انتخاب گردند که در مقابل **creep** استحکام کافی داشته باشند .

**Fatigue** - قطعات فلزی بیش از آنچه که در مقابل یک **load** ثابت آسیب پذیر باشند در مقابل **stress** های متغیر (**fluctuating stresses**) آسیب پذیرترند . این از دست دادن استحکام را اصطلاحاً **fatigue** می نامند .

**The fatigue is actually deterioration of metal by alternating or fluctuating stresses .**

آزمایش نشان می دهد که تنش متناوبی که قطعه را دچار **fatigue** مینماید بمراتب کمتر از تنش ثابت و پیوسته ای است که برای ایجاد ایراد در قطعه لازم است . در کارخانجات برای تعیین مقاومت قطعات در مقابل **fatigue** (**fatigue strength**) از دستگاههای مخصوص استفاده می شود .

# IRON & STEEL

فولاد در اصل آلیاژی از آهن و کربن است که میزان کربن آن از ۱/۷٪ کمتر است . اگر میزان کربن در آلیاژ از۱/۷٪ بیشتر باشد در اینصورت چدن (**cast Iron**) بدست می آید .

**Carbon steel** - به فولادی گفته می شود که خصوصیات آن در نتیجه محتوای کربن آن می باشد به عبارت دیگر عنصر دیگری جز کربن در آن دخیل نیست زیرا بطوری که در بخش های آتی خواهیم دید فولاد نیز با فلزات دیگری مخلوط گشته و **steel alloys** بوجود می آیند . **carbon steels** به سه گروه تقسیم می شوند .

۱- فولاد نرم **mild steel=low carbon steel** - فولادی است که بین ۰/۱٪ تا ۰/۳۵٪ کربن داشته و قابلیت **ductility**و **malleability** خوبی دارد و دلیل آن همانا محتوای کم کربن آن است زیرا هرچه کربن فولاد بیشتر باشد **hardness** و **brittleness** آن بیشتر خواهد بود .

فولادهای مورد استفاده در ساختمانها و تیرآهن ها از این نوع می باشند .

۲- **Medium carbon steel** - این نوع فولاد بین ۰/۳۵٪ تا ۰/۶۵٪ کربن دارد **hardness** آن نسبتاً زیاد بوده و **tensile strength** خوبی دارد ولی **ductility** و **malleability** آن کم است و معمولاً از آن در ساختن **shafts** استفاده می شود .

۳- **High carbon steel** - در این نوع فولاد درصد کربن بین ۰/۶۵٪ تا ۱/۷٪ تغییر می کند و دارای سختی زیاد است و از آن در ساختن ابزار برش **cutting tools** استفاده می کنند .

# Steel alloys

آلیاژهای فولاد معمولاً از اختلاط فولاد نرم با سایر فلزات بـه دسـت مـی آینـد کـه در صنعـت بخصـوص صنایع هواپیمائی کاربرد زیادی دارند . فولاد معمولاً با فلزاتی چون منگنز و نیکل و کروم و وانادیوم و مولبدینوم و تنگستن مخلوط گشته و آلیاژ مورد نظر تهیه می گـردد کـه در اینجـا شـرح مختصـری در مـورد هـر یـک داده می شود .

۱- **Nickel steel** – آلیاژی است که دارای ۳ تا ۵ درصد نیکل می باشد و از آن در ساختن **Bolts & nuts** استفاده می شود . وجود نیکـل **hardness** و **tensile strength** و **elastic limit** آنـرا افزایـش داده بدون اینکه **ductility** آن کم شود .

۲- **Chrome Nickel Steel** - این آلیاژ به خاطر مقاومت زیاد و تحمـل ضربـه خـوب در سـاختن قطعات مهمی هم چون **crank shaft** و **connecting Rod** مورد استفاده است . نوع بخصوصـی از ایـن این فولاد که دارای ۱۸٪ کروم و ۸٪ نیکل است به **stainless steel** موسوم است .

۳- **Chrome Vanadium Steel** - این نوع فولاد تقریباً ۱٪ کروم داشته و مقدار بسیار کمـتری وانادیوم دارد و از آنان در ساختن فنرها و دنده ها استفاده می شود .

۴- **Chrome Molybdenum Steel** - این نوع فولاد بخصوص برای جوشکاری بسیار مناسب بوده و از آن در ساخت قطعات فولادی جوشکاری شده همچون **LDG** و **Eng . mount** استفاده می شود .

**Hint** – آلیاژهای فولاد با یک کد چهار رقمی که توسط **SAE** تعیین گردیده مشخص مـی شـوند مثلاً فولاد **4130**

سؤال : از آلیاژهای فولاد زیر کدامیک بیشترین کربن را داراست ؟

**a = 1050**

**b = 2115**

**c = 3140**

**d = 4130**

**a** جواب است زیرا ۰/۵۰٪ کربن دارد .

سؤال : **4130** چه نوع فولادی است؟

جـواب . فـولاد مولبدینـوم اسـت (۴) و یـک درصـد مولبدینـوم دارد (۱) و ۰/۳٪ مقـدار کربـن آن اسـت و همانطوری که قبلاً گفته شد برای جوشکاری مناسب است .

# MATERIALS

## FERROUS METALS

Ferrous metals are those whose principal content is iron (Latin, *ferrum*), such as cast iron, steels, and similar products. Because of the vast number of different steels and steel alloys, we shall not attempt to describe more than a few of the more commonly used types.

A large percentage of the steels used for general aircraft work are of the wrought type and are designated as shown in Table 7.1. In addition to the standard group of wrought-carbon and alloy steels, a substantial number of heat- and corrosion-resistant steels are used in aircraft and missiles. The principal designations for these steels are given in Table 7.2.

*Table 7.1* SAE IDENTIFICATION FOR WROUGHT STEELS

| | |
|---|---|
| *Carbon steels* | |
| 10xx | Nonsulfurized carbon steel (plain carbon) |
| 11xx | Resulfurized carbon steel (free machining) |
| 12xx | Resulfurized and rephosphorized carbon steel |
| *Alloy steels* | |
| 13xx | Manganese 1.75% (1.60–1.90%) |
| 23xx | Nickel 3.50% |
| 25xx | Nickel 5.00% |
| 31xx | Nickel-chromium (Ni 1.25%, Cr 0.65%) |
| 32xx | Nickel-chromium (Ni 1.75%, Cr 1.00%) |
| 33xx | Nickel-chromium (Ni 3.50%, Cr 1.50%) |
| 40xx | Molybdenum 0.25% |
| 41xx | Chromium-molybdenum (Cr 0.50 or 0.95%, Mo 0.12 or 0.20%) |
| 43xx | Nickel-chromium-molybdenum (Ni 1.80%, Cr 0.50 or 0.80%, Mo 0.25%) |
| 46xx | Nickel-molybdenum (Ni 1.75%, Mo 0.25%) |
| 47xx | Nickel-chromium-molybdenum (Ni 1.05%, Cr 0.45%, Mo 0.20%) |
| 48xx | Nickel-molybdenum (Ni 3.50%, Mo 0.25%) |
| 50xx | Chromium 0.28 or 0.40% |
| 51xx | Chromium 0.80, 0.90, 0.95, 1.00, or 1.05% |
| 5xxxx | Chromium 0.50, 1.00, or 1.45%, Carbon 1.00% |
| 61xx | Chromium-vanadium (Cr 0.80 or 0.95%, V 0.10 or 0.15%) |
| 86xx | Nickel-chromium-molybdenum (Ni 0.55 or 0.05 or 0.65%, Mo 0.20%) |
| 87xx | Nickel-chromium-molybdenum (Ni 0.55%, Cr 0.50%, Mo 0.25%) |
| 92xx | Manganese-silicon (Mn 0.85%, Si 2.00%) |
| 93xx | Nickel-chromium-molybdenum (Ni 3.25%, Cr 1.20%, Mo 0.12%) |
| 98xx | Nickel-chromium-molybdenum (Ni 1.00%, Cr 0.80%, Mo 0.25%) |

*Table 7.2* AISI IDENTIFICATION FOR HEAT- AND CORROSION-RESISTANT STEELS

| | |
|---|---|
| 2xx | Chromium-nickel-manganese (nonhardenable, austenitic, nonmagnetic) |
| 3xx | Chromium-nickel (nonhardenable, austenitic, nonmagnetic) |
| 4xx | Chromium (hardenable, martensitic, magnetic) |
| 4xx | Chromium (hardenable, ferritic, magnetic) |
| 5xx | Chromium (low chromium, heat-resisting) |

In Table 7.1, the first digit of each number indicates the general classification of the steel, that is, carbon, nickel, etc. The number 1 indicates a carbon steel. The second digit of the number indicates the approximate percentage of the principal alloying element; for example, a 2330 steel contains more than 3 percent nickel. The last two digits of the number indicate the approximate amount of carbon in hundredths of 1 percent.

One of the most important considerations for ordinary carbon steel is the quantity of carbon it contains. A low-carbon steel contains 0.10 to 0.15 percent carbon. Medium-carbon steels contain 0.20 to 0.30 percent carbon. The higher the carbon content of steel, the greater its hardness and also its brittleness. High-carbon steels are used for cutting tools, springs, etc. For general purposes, low or medium steels are best because they are more easily worked, they are tougher, and they have a much greater impact resistance. Such steels were used for many years in the manufacture of aircraft structures and fittings.

Probably the most commonly used steel for general aircraft structural purposes today is **SAE 4130 chromium-molybdenum (chrome-moly) steel.** When properly heat-treated, it is approximately four times as strong as 1025 mild-carbon steel. SAE 4130 chrome-molybdenum steel is easily worked, readily weldable by any method, hardenable, heat-treatable, easily machined, and well adapted to high-temperature conditions of service. The technician should remember the name and number of this steel because he is likely to use it often in the repair of aircraft.

Nickel steels, SAE 23xx and 25xx, contain from 3.5 to 5 percent nickel and a small percentage of carbon. The nickel increases the strength, hardness, and elasticity of the steel without appreciably affecting the ductility. Nickel steel is used for making various aircraft hardware including nuts, bolts, clevis pins, and screws.

Nickel-chromium and chromium-vanadium steels are used where still greater strength, hardness, and toughness are required. Such steels are often found in highly stressed machine parts such as gears, shafts, springs, and bearings.

It is not essential that the technician know the type of steel used in a particular factory-made part. However, if he needs to fabricate a steel part which is no longer available, he must make sure that it is made from a material as good or better than the original and that it is properly stress-relieved and heat-treated if such treatment is necessary to provide the correct degree of hardness and strength. The nature and temper of the original part can often be determined by means of a Rockwell or Brinnell hardness tester.

## CORROSION-RESISTANT (STAINLESS) STEELS

During the past three decades the term **stainless steel** has become a household word because of its many applications in consumer items as well as in aircraft and missiles. The development of stainless steel has made possible many of the outstanding advances in aircraft, jet engines, and rockets. The most important characteristics of stainless steels are corrosion resis-

tance, strength, toughness, and resistance to high temperatures. Stainless steels can be divided into three general groups based on their structures: **austenitic, ferritic,** and **martensitic.**

The austenitic steels are chromium (Cr)-nickel (Ni) and chromium-nickel-manganese alloys. They can be hardened only by cold-working, and heat treatment serves only to anneal them. They are nonmagnetic in the annealed condition, although some may be slightly magnetic after cold-working.

**Austenitic** steels are formed by heating the steel mixture above the critical range and holding to form a structure called **austenite.** A controlled period of partial cooling is allowed followed by a rapid quench just above the critical range.

**Ferritic** steels contain no carbon; hence they do not respond to heat treatment. They contain a substantial amount of chromium and may have a small amount of aluminum. They are always magnetic.

**Martensitic** steels are straight chromium alloys that harden intensely if they are allowed to cool rapidly from high temperatures. They differ from the two preceding groups because they can be hardened by heat treatment.

The most widely used stainless steels for general use are those in the 300 series, called 18-8 because they contain approximately 18 percent chromium and 8 percent nickel. Typical of these types are 301, 302, 321, and 347.

Although stainless steels have many advantages, there are certain disadvantages that must be faced by the fabricator and designer: (1) Stainless steels are more difficult to cut and form than many materials. (2) Stainless steels have a much greater expansion coefficient than other steels, and they conduct heat at a lower rate; this makes welding more difficult. (3) Many of the stainless steels lose their corrosion resistance under high temperatures.

# Heat - Treatment

منظور از این واژهٔ مهم یک سری اعمال در رابطه با heating و cooling یک فلز یا یک آلیاژ در حالت جامد با هدف کسب مشخصات مطلوب و مورد نظر است و زمان و میزان heating و cooling تعیین کنندهٔ ساختار بلورین crystalline structure ماده مورد نظر است .

۱- Heating - هر فلز یا آلیاژ دارای درجه حرارت بحرانی ویژه ای است که در آن درجه حرارت ساختار داخلی فلز شروع به تحول می نماید . از این رو آلیاژ یا فلز مورد نظر را تا درجه حرارت بحرانی critical tempگرم می نمایند . بطور کلی دقت این نوع اعمال بستگی به دانش دقیق از این درجه حرارت بحرانی در مورد فلزات مختلف دارد .

۲- Soaking = Holding - منظور از این واژه نگه داشتن فلز در درجه حرارت بحرانی برای مدت زمان معینی است به طوری که تمام قسمتهای آن از گرما اشباع شده و تحولات لازم در ساختار داخلی آن صورت پذیرد .

۳- Quenching = Cooling - منظور از این واژه شیوه خنک کردن فلز چه در مجاورت هوا و چه از طریق فرو بردن در مایع همچون روغن یا آب یا آب نمک (brine) می باشد و نحوه cooling رابطه مستقیمی با کسب خواص مورد نظر دارد که بنوبه خود در روشهای مختلف به آنها اشاره خواهیم نمود .

رایج ترین انواع heat - treatment برای فلزات آهنی عبارتند از :

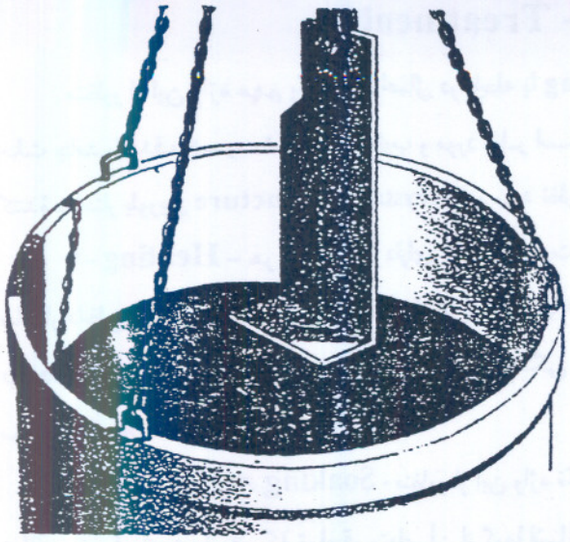
annealing - normalizing - hardening - tempering - case hardening که در مورد هریک شرحی ارائه میگردد :

a - Annealing (نرم کردن)- در این روش ابتدا قطعه مورد نظر را تا حرارتی مافوق درجه حرارت بحرانی گرم کرده و سپس به آهستگی آنرا خنک می نمائیم (slow cooling) در نتیجه این عمل فلز نرم گشته و ductility و malleability آن افزایش می یابد و به عبارت بهتر تنش ها کاهش می یابند .

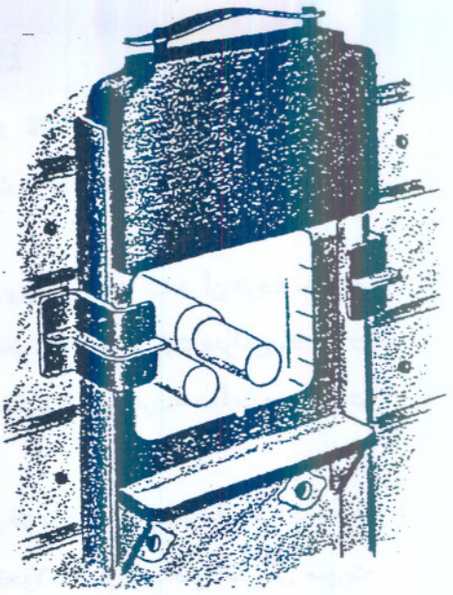
b - Normalizing - از این طریقه معمولاً در مورد فولاد و قطعات ساخته شده از آن بدین منظور استفاده می شود که کربن موجود در فولاد به نحو احسن و یکنواخت با آهن مخلوط گشته و مرغوبیت فولاد افزایش یابد و برای این عمل فولاد را بیش از critical temp گرم کرده و پس از آن در هوای آزاد خنک می کنند این عمل فولاد را در حدی کمتر از ANNEALING نرم نموده ولی استحکام آنرا بیشتر از آن نموده و تنش های داخلی را تسکین می بخشد .

c - Hardening - برای این عمل ابتدا آلیاژ را به درجه حرارتی کمی بیش از critical temp رسانده و سپس بلافاصله آنرا در آب ، روغن یا brine فرو می کنیم تا خنک شود . این عمل اولین گام در راه تهیه فولادهای بسیار مستحکم است ولی در این حالت با اینکه فولاد بسیار سخت می شود به همان نسبت نیز brittleness آن افزایش می یابد که بروش tempering عیوب آنرا رفع می کنند .

d - Tempering - این عمل که بآن drawing نیز می گویند پس از فرایند hardening با هدف تسکین (relief) تنش های حاصل از آن صورت می گیرد . در این عمل قطعه را تا درجه حرارتی کمتر از critical temp. گرم نموده و برای مدت زمان معینی در این درجه حرارت.نگه داشته و سپس آنرا به آرامی در



Quenching material in vertical position.



Heat-treating furnace.

آب، روغن ، و یا هوا خنک می نمایند. در اینجا لازم به تذکر است که انتخاب **cooling medium** بستگی به خصوصیات اکتسابی مورد نظر کارخانه سازنده دارد . این فرآیند چون یک گرمایش مجدداست، به آن اصطلاحا " REHEAT نیز میگویند .

**e - Case hardening** - در موارد خاصی ممکن است مغز یک قطعه فولادی را نسبتاً نرم گرفته و پوسته (**case**) آنرا به یکی از سه روشی که ذیلاً شرح داده می شود سخت نمائیم . این عمل معمولاً در مورد قطعاتی صورت می پذیرد که با قطعه ای دیگر تماس زیادی داشته ( مثل پیستون و سیلندر ) و بدین طریق از سائیدگی پوسته اجتناب می شود .

چناچه در بحث در مورد فولاد مشاهده کردیم هرچه درصد کربن بیشتر باشد سختی فولاد نیز زیادتر خواهد بود و از همین نکته به طریقی که خواهیم دید برای **case hardening** استفاده می شود و مثلاً این عمل بیشتر بر روی قطعاتی مانند **gears** و **Rollers** و مهمتر از همه سطح داخل سیلندر موتورهای پیستونی اعمال می شود و سه روش مورد استفاده عبارتند از :

۱ - **Carburizing = Carbonizing** - در این روش پس از گرم کردن آلیاژ فولاد آنرا در مجاورت جسم کربن زائی مانند دوده برای مدت زمان لازم نگه می دارند که این مدت حدود چند ساعت است تا سطح فلز کربن لازم را جذب و سختی مورد نظر را کسب نماید .

۲- **Nitriding** - در این روش پس از گرم کردن قطعه فولادی مخصوص بحدی کمتر از درجه حرارت بحرانی آنرا در مجاورت هیدرات آمونیوم ( **NH4OH** ) قرار می دهند و در نتیجه جذب ازت قشر نازکی از نیترات آهن سطح آلیاژ را می پوشاند . مقاومت این متد بیش از **carburizing** بوده ولی عمق نفوذ آن کمتر است . مورد استفاده عمده این روش در سخت سازی پوسته داخلی سیلندر موتورهای پیستونی هواپیماست .

۳- **Cyaniding** - این یک روش سریع برای سخت سازی پوسته آلیاژهای **low carbon steel** است . در این روش قطعه فولادی گرم شده را در داخل محلولی مذاب از نمک سیانور قرار داده و یا پودر سیانور بر روی آن می پاشند . درجه حرارت مورد نیاز در این فرآیند بین **700** تا **870 c** می باشد که مقدار دقیق آن بستگی به نوع فولاد ، عمق پوسته سخت شده و نهایتاً نوع پودر سیانور دارد .

# Aluminium alloys

آلومینیوم فلزی براق بوده ، وزن آن کم و در مقابل **corrosion** مقاوم است و از نظر خصوصیات فیزیکی مفتول شونده (**ductile**) چکش خوار (**malleable**) و (**Nonmagnetic**) بوده و خاصیت هدایت حرارت آن عالی است مثلاً در موتورهای پیستونی برای ساختن سرسیلندر از آلیاژ آلرمینیوم استفاده می شود ولی با تمام این محسنات آلومینیوم خالص (**pure Al.**) فاقد استحکام کافی است و بهمین جهت آلیاژهای مختلفی از آن با استحکام بسیار قوی بوجود آورده اند که تنها عیب آنها عدم مقاومت در مقابل **corrosion** است و بهمین خاطر باید به طریقی در مقابل آن محافظت گردند که در فصول آینده مورد بحث قرار خواهد گرفت .

یکی از محصولات آلیاژ آلومینیوم که مورد استفاده زیادی در هواپیما دارد **Alclad** است و آن عبارت از ورقهای آلیاژ آلومینیوم است که بر روی آنها به منظور محافظت در مقابل **corrosion** یک پوشش آلومینیوم خالص به طریقه مکانیکی **cladding** داده اند و به همین خاطر است که به آن **alclad** می گویند . پوشش خارجی هواپیما مانند بال و بدنه معمولاً **Alclad** است و به همین خاطر پرسنل فنی مجاز به قدم گذاشتن برروی بدنه هواپیما بدون کفش مخصوص نیستند زیرا در غیر اینصورت میخ کفش پوسته را **Scratch** نموده و از همین نقاط **corrosion** میتواند آغاز گردد .

## Aluminium alloy designation نام گذاری آلیاژهای آلومینیوم

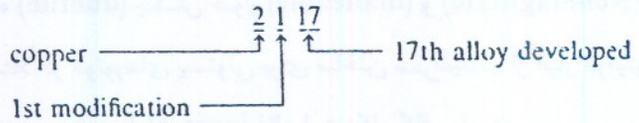
از آنجائی که آلیاژهای مختلف آلومینیوم با خصوصیات متفاوت در طی سالیان بوجود آمده اند سیستم خاصی برای نام گذاریی و شناسائی آنها مورد استفاده بوده و از سال **1954** به بعد سیستم چهار رقمی توسط **Alcoa** وضع گردیده است که طبق جدول زیر رقم اول بیانگر فلز آلیاژگر اصلی است :

| | |
|---|---|
| 1 ••• Aluminium 99 % minimum | کد قدیمی 2S ---- 1100 |
| 2 ••• Copper | 2024 , 2117 |
| 3 ••• Manganese | 3003 |
| 4 ••• Silicon | 4041 |
| 5 ••• Magnesium | 5052 |
| 6 ••• Manganese & Silicon | 6061 |
| 7 ••• Zinc | 7075 |
| 8 ••• Other elements | |

Alcoa = Aluminium company of America

همانطوریکه در بالا اشاره شد در این سیستم اولین رقم بیانگر **main alloying element** است به عنوان مثال هر آلیاژ آلومینیوم با کد چهار رقمی که اول آن 2 باشد فلز اصلی آلیاژساز مس است مثلاً **2024** یکی از معروفترین آلیاژهای آلومینیوم مورد استفاده در صنعت هواپیمائی است . عدد دوم بیانگر اصلاحاتی است (**modifications**) که روی آلیاژ اولیه ممکن است صورت پذیرفته باشد مثلاً در آلیاژ **2024** عدد دوم که صفر

است نشان می دهد که آلیاژ همان original است و دو رقم آخر برای شناسائی آلیاژهای ویژه می باشد . در کتابهای متالوژی جداول مخصوص وجود دارد که میتوان از آنها برای شناسائی آلیاژهای مختلف سود جست .




بعد از چهار رقم مذکور حروفی ممکن است پدیدار گردند که بیانگر نوع temper و عدد بعد از این حروف بیانگر میزان این temper و نحوه اعمال آن طبق جدول زیر است .

۱- اگر بعد از چهار رقم حرف O ظاهر شود به معنی annealed (soft) است .

۲- اگر بعد از چهار رقم حرف T ظاهر شود به معنی solution heat - treatment است .

۳- اگر بعد از چهار رقم حرف F ظاهر شود به معنی As fabricated است .

۴- اگر بعد از چهار رقم حرف H ظاهر شود به معنی strain hardening و یا cold working است یعنی treatment اعمال شده بر روی این آلیاژ در حالت cold انجام شده و دلیل آن این است که بعضی از آلیاژهای آلومینیوم Non - heat - treatable هستند .

Aluminum-alloy numbering system

| Former numbering | Present numbering |
|---|---|
| 2S | 1100 |
| 3S | 3003 |
| 14S | 2014 |
| 17S | 2017 |
| A17S | 2117 |
| 24S | 2024 |
| 52S | 5052 |
| 56S | 5056 |
| 61S | 6061 |
| 75S | 7075 |

## Heat - Treatment of Aluminium alloys

heat - treatment آلیاژهای آلومینیوم نیز همچون فولاد مستلزم سه مرحله heating یعنی افزایش درجه حرارت آلیاژ تا درجه خاصی ، soaking یا holding یعنی نگه داشتن فلز در این درجه حرارت برای مدت زمان معینی به طوری که حرارت به اعماق آلیاژ نفوذ کرده و تحولات لازم را موجب گردد و سوم Quenching یعنی خنک کردن که معمولاً سریعاً صورت می پذیرد . در مرحلهٔ گرم کردن ، فلزات موجود در آلیاژ به حالت نیمه مذاب (solid solution) درآمده و به طور یکسان در تمام آلیاژ پخش می گردند و در تمام این مراحل بایستی دقت لازم صورت می پذیرد و در غیر این صورت نتایج منتظره کسب نخواهد شد . به طور کلی به heat - treatment آلیاژهای آلومینیوم solution heat - treatment می گویند و زمان بستگی به نوع آلیاژ و ضخامت قطعه دارد و قطعات بایستی بدقت در درجه حرارت بحرانی و به اندازه کافی از نظر زمان نگه داشته شوند و سپس سریعاً Quench گردند .

**Hint** : اگر در اثر غفلت قبل از **Quenching** درجه حرارت آلیاژ از حد مقرر پائین تر آید مقاومت آلیاژ در مقابل **corrosion** عمیقاً لطمه خواهد خورد و بعداً خواهیم دید که قطعه ممکن است از داخل دچار **corrosion** شود که بدان **intergrannular corrosion** می گویند .

بعضی از آلیاژهای آلومینیوم نظیر 1100 و 3003 و 5052 قابل **heat - treat** نیستند و همانطور که گفتیم بدنبال اینها حرف **H** ظاهر می شود که بیانگر نحوه **strain hardening** و یا **cold working** است .

**Hint** : عدد 1100 بیانگر آلومینیوم خالص است که **99%** درجه خلوص آن است حال اگر به جای دو صفر آخر عدد دیگری مانند مثلاً 50 ظاهر شود بیانگر اینست که علاوه بر **99%** **0.50%** دیگر نیز آلومینیوم است یعنی در کل درجه خلوص **99.5%** است .

**Annealing** - برای این منظور آلیاژهای آلومینیوم نیاز به درجه حرارتی بین **750** تا **800 F** را دارند . زمان **soaking** حداقل یک ساعت بوده و همچون آلیاژ فولاد عمل **cooling** بایستی به آهستگی و تأنی صورت پذیرد .

**Aluminum-alloy soaking times**

| Alloy | Soaking time, (min) | | | |
|---|---|---|---|---|
| | Less than 0.032 in. thick | 0.032–0.125 in. thick | 0.125–0.250 in. thick | More than 0.250 in. thick |
| 2014T | 20 | 20 | 30 | 60 |
| 2017T | 20 | 30 | 30 | 60 |
| 2117T | 20 | 20 | 30 | 60 |
| 2024T | 30 | 30 | 40 | 60 |
| 2024T (clad) | 20 | 30 | 40 | 60 |
| 5053T | 20 | 30 | 40 | 60 |
| 6061T | 20 | 30 | 40 | 60 |
| 7075T | 25 | 30 | 40 | 60 |
| 7075T (clad) | 20 | 30 | 40 | 60 |

**Aluminum-alloy heat-treating data**

| Alloy | Temperature, °F | Quench | Aging Temperature | Time of aging |
|---|---|---|---|---|
| 2014T | 930–950 | Hot water | 335–345°F | 10 hr |
| 2017T | 930–950 | Cold water | Room | 4 days |
| 2117T | 930–950 | Cold water | Room | 4 days |
| 2024T | 910–930 | Cold water | Room | 4 days |
| 5053T | 960–980 | Water | 312–325°F | 18 hr |
| 6061T | 960–980 | Water | 315–325°F | 18 hr |
| 7075T | 860–930 | Cold water | 345–355°F | 6–10 hr |

## Uses of aluminium alloys

آلومینیوم خالص 1100 و آلیاژهای3003 و 5052 که **non - treatable** هستند دارای استحکام چندانی نبوده ولی از نظر **working** و **welding** بسیار مناسبند از این رو از آنها در ساخت قطعات نظیر **engine cowling** و **fairing** و **oil tanks** و امثالهم استفاده می شود .

رایج ترین آلیاژهای آلومینیوم مورد استفاده در هواپیما برای **strucural parts** انواع 2024 و 7075 هستند و قابل ذکر است که 7075 مستحکم ترین آلیاژ آلومینیوم است . استحکام زیاد شکل پذیری این آلیاژ (forming) را مشکل نموده و هر نوع چنین اعمالی بایستی قبل از **heat treatment** صورت پذیرد .

از آلیاژ 2014 برای ساخت قطعات به روش **forging** استفاده می شود . از آلیاژهای **2117** و **2024** و **7075** برای پرچهای ساختمانی استفاده می شود و قابل ذکر است که پرچهای **2024** و **7075** قبل از استفاده پرچ کاری بایستی **heat treat** شوند .

از آلیاژ آلومینیوم ریخته گری (**cast**) برای ساخت کاسه چرخ ، سرسیلندر و بدنه کاربوراتور استفاده می گردد .

## Magnesium Alloys

منیزیم سبکترین فلزات تجارتی بوده و وزن مخصوص آن ۶۵٪ آلومینیوم بوده یعنی ۱/۳ از آن سبکتر است و با توجه به اینکه آلومینیوم خود از سبکترین فلزات است می توان پی به میزان سبکی آن برد . منیزیم نیز معمولاً با فلزاتی چون آلومینیوم - منگنز - روی مخلوط می گردد تا آلیاژهای مقاوم آن بوجود آید . آلیاژهای منیزم نیز مقاومت چندانی در مقابل **corrosion** نداشته و به همین خاطر به طوری که بعداً شرح خواهیم داد به روش **chromate treatment** محافظت باید گردند . از آلیاژهای منیزیم در هواپیما برای قطعات ساختمانی **seeondary** همچون قطعات صندلیها و کف و **brackets** استفاده می شود . نکته قابل ذکر در مورد نحوه کار با آلییاژ منیزیم این است که براده های آن ممکن است آتش بگیرند که شدت حرارت زیاد نبوده ولی خاموش کردن آن بسیار مشکل است . از آلیاژ منیزیم **cast** برای ساخت قطعات موتور و کاسه چرخ (**wheel hub**) و غیره استفاده می شود . **heat treatment** آلیاژهای مینزیم نظیر آلیاژهای آلومینیوم بوده با این تفاوت که به درجات حرارت کمتری نیاز است .

**Titanium alloys** - تیتانیوم فلز سبک ، محکم، **ductile** با مقاومت عالی در مقابل **corrosion** بوده و استحکامی معادل فولاد دارد در حالیکه وزن مخصوص آن کمی بیش از نصف فولاد است یعنی **56%** فولاد است بنا بر این در بین فلزات صنعتی نسبت استحکام به وزن آن بیشترین است . این فلز در مقابل حرارت نیز مقاومت خوبی داشته و این مقاومت را تا بیش از **800F** تحمل می نماید از اینرو از آن در قسمت های **cold** موتور جت همچون **compressor** و نیز احیاناً **cowling** و **baffling** موتور و نیز پوسته بیرونی هواپیما در مواردی که امکان ایجاد درجه حرارت نسبتاً زیاد است همچون لبه حمله هواپیمای سوپرسونیک با ماخ نامبر بالا مورد استفاده قرار می گیرد .

تیتانیوم هم بصورت خالص و هم بصورت آلیاژ مورد استفاده است و اگر درجه حرارت آن از **1000F** فراتر رود تمایل شدیدی به ترکیب با اکسیژن و نیتروژن هوا یافته از این رو در چنین مواردی بالایه ای از گاز خنثی (**inert gas**) محافظت می گردد . نکته قابل ذکر در مورد تیتانیوم این است که موقع **grinding** براده های آن ممکن است آتش بگیرد که ایجاد آتش بسیار پر حرارتی می نماید .

**copper alloys** - مس وزن اتمی اش **64** است پس آنچنان فلز سبکی محسوب نمی گردد ولی از نظر تجارتی بهترین هادی (**conductor**) الکتریسیته است از اینرو از آن در ساختن سیم های برق استفاده می شود تا در مقابل عبور جریان مقاومت کمی ارائه نماید . البته بهترین هادی برق نقره است ولی چون سنگین (وزن اتمی آن **108**) و گران است مورد استفاده تجارتی ندارد .

آلیاژهای مس بصورت برنج (Brass) و برنز (Bronze) یافت می شوند که برنج آلیاژ مس و روی بوده و به علت سهولت کاری و مقاومت در مقابل corrosion از آن برای ساخت turnbuckle و bolts & nuts و studs و fittings و امثالهم استفاده می شود .

برنز آلیاژ مس و قلع (Tin) می باشد و معمولاً از آن برای ساخت bushing و bearings و gears و electric contacts استفاده می شود .

## High temperature alloys (Super alloys)

آلیاژهائی که دارای درصد زیادی از نیکل ، کرم ، کبالت ، مولبیدنوم و تنگستن در خود هستند دارای استحکام بالا همراه با مقاومت خوب در مقابل oxidation و corrosion در شرایط درجه حرارت زیاد (بیش از 2000F )بوده و از این نظر بر آلیاژهای فولاد برتری دارند و به همین سبب در قسمت های داغ موتور جت هم چون combustion chamber از آنها استفاده می شود . لازم به یادآوری است که درجه حرارت ذوب تنگستن حدود 5600F است . این نوع آلیاژها به دو گروه nickel base با حدود80% نیکل و cobalt base با بیش از 40 تا 60 درصد کوبالت تقسیم می شوند .

## ALUMINUM AND ITS ALLOYS

Since the days of the "stick and wire" airplanes, aluminum has been the principal structural metal for aircraft. Pure aluminum was much too soft for structural use, and so alloys were developed to provide for the strength and stiffness required. The most widely used alloy was originally designated 24ST and is now 2024-T3 and 2024-T4. The T3 and T4 are temper designations, which will be more fully explained later. When structural aluminum alloys first came into use, they were called **duraluminum,** or **dural.** These were bare alloys and were subject to considerable corrosion unless specially treated. Eventually the corrosion problem was largely solved by the process of "cladding." This consisted of rolling a thin layer of pure aluminum on the outer surface of both sides of the alloy sheet. Since pure aluminum is highly resistant to corrosion because of a very thin layer of oxide which forms on the surface immediately upon exposure to the air, the surface of the clad material is effectively protected. The trade name for aluminum alloy sheet prepared in this manner by the Aluminum Company of America is Alclad.

Wrought aluminum and aluminum alloys are designated by a four-digit system, with the first digit of the number indicating the principal alloying element. Standard aluminum alloys are given in Table 7.3. The list in Table 7.3 does not include all the aluminum alloys, but those most commonly used are listed. The alloys shown have a wide variety of characteristics; hence each one has particular applications.

*Table 7.3*

| *Number* | *Alloy type* |
|---|---|
| 1100 | Pure aluminum |
| 2014 | Copper, silicon, manganese, magnesium |
| 2017 | Copper |
| 2020 | Copper and lithium |
| 2024 | Copper plus manganese and magnesium |
| 2117 | Copper (modified) |
| 2219 | Copper plus manganese, vanadium, and zirconium |
| 2618 | Copper, iron, magnesium, titanium |
| 3003 | Manganese |
| 4043 | Silicon |
| 5052 | Magnesium |
| 6061 | Magnesium and silicon |
| 7075 | Zinc, magnesium, copper, chromium |
| 7079 | Zinc, magnesium, copper, iron, silicon |

Another factor important for aluminum alloys is the temper or hardness value. Heat-treatable alloys are followed by the letter T and a number to indicate the type and degree of heat treatment. Non-heat-treatable alloys are followed by the letter O to indicate soft or annealed condition or H and a number to indicate the degree of work-hardening. For example, 1100-H12 indicates one-fourth hardened while 1100-H18 indicates that the aluminum is fully hardened. With the 5052 alloy, H38 is the fully hardened condition.

The most commonly used aluminum alloys for aircraft structures are 2024-T3 and -T4 and 7075-T6. Where elevated temperatures are encountered, other aluminum alloys or other types of metal may be used. Pure aluminum (1100) and the softer alloys (3003 and 5052) are generally used for tubing, junction boxes, nonstressed panels, deep-drawn parts, or other parts that require considerable forming but are not subjected to high loads. These materials are easily worked and readily weldable. The alloy 2014 is particularly well adapted to the manufacture of forged parts requiring high strength. The alloys 2117, 2024, and 7075 are all used for structural rivets. The 2024 and 7075 rivets require heat treatment before driving.

Aluminum alloy sheet as it comes from the manufacturer is usually marked with letters and numbers in rows about 5 in. apart. These identification symbols may include a federal specification number, the alloy number with temper designation, and the thickness of the material in thousandths of an inch.

## MAGNESIUM

Magnesium alloys are used frequently in aircraft and missile structures in cast, forged, and sheet form. The greatest advantage of magnesium is that it is one of the lightest metals for its strength. The disadvantages in the use of magnesium sheet are that it is more subject to corrosion than many metals, it is not easily worked at room temperatures, and if it becomes ignited, it is extremely difficult to extinguish.

When magnesium is used in an airplane structure, it can often be recognized by the fact that it has a yellowish surface due to the chromate treatment used to prevent corrosion and furnish a suitable paint base. When the technician encounters magnesium in an aircraft, he must know that it cannot be cut easily but is likely to tear, it cannot be bent or otherwise worked under normal temperatures, it is subject to corrosion and therefore should be treated with the proper coating, and it presents a certain degree of fire hazard.

When standard parts are made of magnesium, this fact will usually be stated in the manufacturer's overhaul and service manuals. Also in the manuals will be the directions for the proper treatment of such parts.

When magnesium structures are found to be corroded, the condition should be corrected immediately in order to prevent severe damage. The corroded area can be brushed with a stiff fiber brush and water to remove corrosion products. The area should then be treated with a 10 percent chromic acid solution to which has been added approximately twenty drops of battery electrolyte per gal. The electrolyte is composed of water and sulfuric acid in a mixture having a specific gravity of 1.300. The chromic acid solution should be allowed to remain on the surface for at least 5 min, after which the area is washed with clean water and dried. Primer and paint (enamel or lac-

## REPAIRS

Recommendations for the type of repair to make and the methods or procedures to use vary among the different aircraft manufacturers. Tools, materials, equipment, and typical repairs that might be made on metal bonded honeycomb structures will be discussed in the following paragraphs.

### Tools and Equipment

Effective repairs to bonded honeycomb assemblies depend largely on the knowledge and skill of the airframe mechanic in the proper use and maintenance of the tools and equipment used in making bonded honeycomb repairs. The design and high quality of workmanship built into these tools and equipment make them unique in the repair of bonded honeycomb assemblies. Therefore, it is essential that the techniques and procedures established for each tool or piece of equipment be known and practiced. Both personal injury and additional damage to the area being repaired can then be avoided.

### Router

The primary tool used to prepare a damaged honeycomb area for repair is a pneumatically powered, hand-operated router with speeds ranging from 10,000 to 20,000 r.p.m. The router is used in conjunction with the support assembly, bit, and template as shown in figure 5–77.

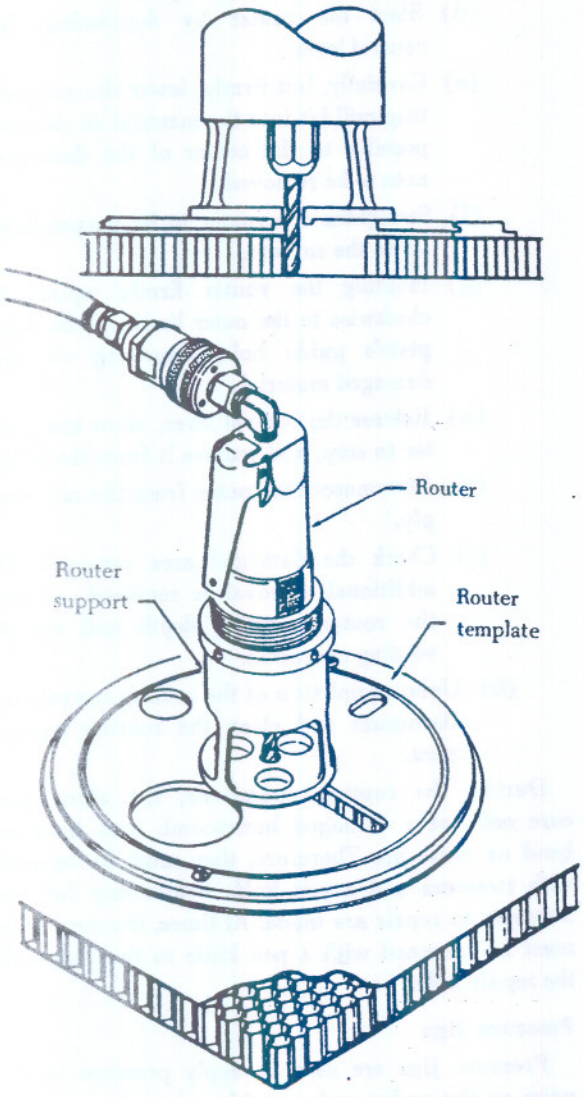



FIGURE 5–77. Router, support assembly, and template.

The router support assembly threads onto the router body. It has provisions to adjust the desired depth of the cut with a locking (clamping nut) mechanism which secures the depth adjustment in place. One complete turn of the support adjustment changes the depth of cut approximately 0.083 in.

Metal-cutting, ¼-in. mill bits are used with the router for removing the damaged areas. The router bits should be kept sharp, clean, and protected against nicks, breakouts, or other damages.

Router templates are used as guides when removing damaged honeycomb areas with a router. They can be designed and manufactured to the desired sizes, shapes, or contours of the repair. As an example, the multi-template (figure 5–78) can be used as a guide when cutting holes from ½ in. to 6 in. in diameter. For larger holes, a template can be manufactured locally from aluminum alloy 0.125-in. thick, whereas smaller holes can be cleaned out without the use of a template. The multi-templates should be kept clean and lightly oiled to prevent rusting and to maintain smooth operation during their use.

A routing template may be applied to a flat surface using the following procedures:

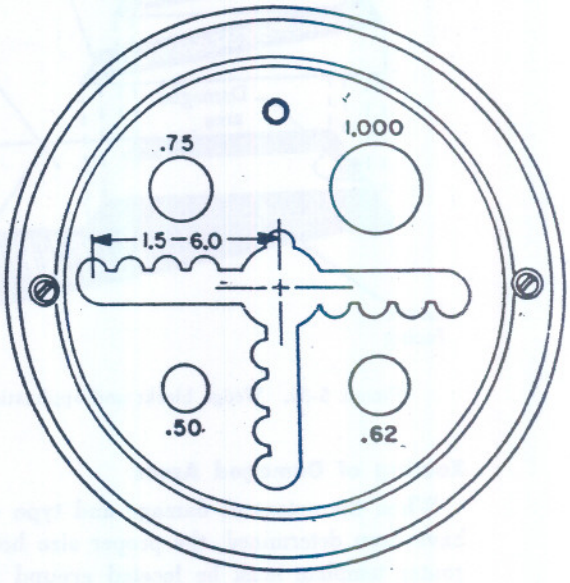



FIGURE 5–88. Multi-template.

(1) Apply double-backed tape to the edge or rim of the routing template.
(2) Place the template, centering the desired cutout guide hole directly over the damaged area.
(3) Press the template firmly down over the double-backed tape, making sure that it is secured in place; this will avoid any creeping or misalignment of the template during the routing operation.

A routing template may be applied to a tapered surface by using the follwoing procedures:

(1) Manufacture a bridge consisting of two wooden wedge blocks at least 6 in. long and with approximately the same degree of angle as that of the panel. (See figure 5-89.)

(2) Apply a strip of double-backed tape to one side of each wedge block.

(3) Place a wedge block on each side of the damaged area in a position that will bridge and support the template properly during the routing operation.

(4) Press the wedge blocks firmly in place.

(5) Place another strip of double-backed tape on the top side of each wooden wedge block.

(6) Place and align the template over the wedge blocks, thus avoiding any creeping or misalignment of the template during operation.

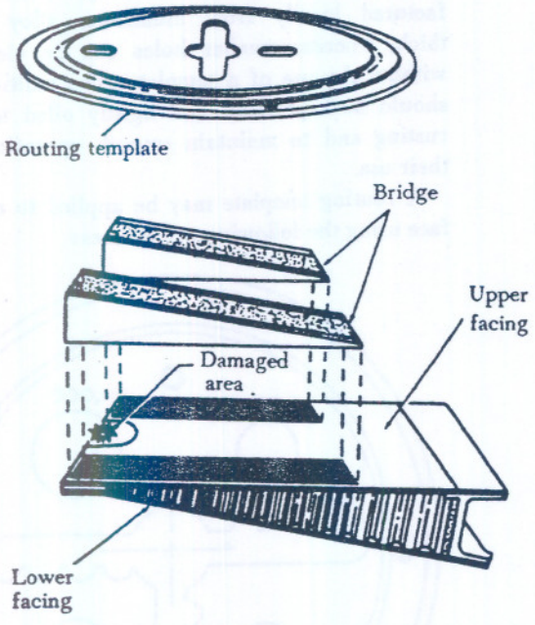



FIGURE 5-89. Wedge blocks and application.

### Routing of Damaged Areas

When the extent of damage and type of repair have been determined, the proper size hole of the router template must be located around the damaged area in such a way that it will ensure that all the damage will be removed. The double-backed tape is used to secure the template to the surfaces around the damaged area, thus preventing creeping or misalignment of the template.

The router bit should be adjusted and set for the approximate depth required to remove the damaged area. During the routing operations, the router should be firmly gripped with both hands to prevent it from jumping or creeping. When the router is not in use, it should be disconnected from the air hose and stored properly until it is to be used again.

The following procedures for the removal of damaged bonded honeycomb areas are typical of those used by the various airframe manufacturers. Always follow the repair techniques specified by the applicable aircraft manufacturer.

(1) Determine the extent of the damage.

(2) Set up and adjust the router, router support assembly, and end-cutting mill bit for the removal of the damaged area.

(3) Select a routing template and position the template over the repair area according to procedures outlined in the discussion on templates.

(4) Attach the router's air intake plug in the socket of the air supply.

(5) Accomplish the routing operation.

(a) Use face shield or goggles for eye protection against flying materials removed.

(b) Place the air hose over the shoulder.

(c) Holding the router firmly and at a 45° angle to the surface, place one edge of the router support assembly against the edge of the routing template.

(d) Start the router by depressing the control lever.

(e) Carefully, but firmly, lower the end-cutting mill bit into the material as close as possible to the center of the damaged area to be removed.

(f) Straighten the router to be perpendicular to the surface.

(g) Holding the router firmly, spiral it clockwise to the outer limits of the template's guide hole, removing all the damaged material.

(h) Release the control lever, allow the router to stop, and remove it from the hole.

(i) Disconnect the router from the air supply.

(j) Check the damaged area removed. If additional removal is required, adjust the router's cutting depth and repeat routing operation.

(6) Upon completion of the routing operation, disconnect and clean the routing equipment.

During the routing operations, the aluminum core cells of a damaged honeycomb area tend to bend or close up. Therefore, they must be opened with tweezers and a pen knife before any further attempts to repair are made. At times, the core cells must be trimmed with a pen knife to the shape of the repair hole.

### Pressure Jigs

Pressure jigs are used to apply pressure to repairs on the under surfaces of honeycomb panels or assemblies to hold the repair materials and resins in

place. The pressure is maintained on the repair area until the repair material is cured.

C-clamps, locally manufactured jigs, or vacuum fixtures may be used to apply the necessary pressure to bonded honeycomb repairs.

The surfaces around the repair area must be absolutely clean and free of any foreign materials to ensure a good vacuum when vacuum fixtures or suction types of equipment are used. An application of water or glycerin to the surface areas will aid in obtaining a good vacuum. Normal cleaning, care, and corrosion prevention will maintain the above equipment in good working condition.

### Infrared Heat Lamps

Infrared heat lamps are used to shorten the curing time of bonded honeycomb repairs from approximately 12 hrs. to 1 hr. A single-bulb lamp will adequately cure a repair up to 6 in. in diameter, but a large repair may require a battery of lamps to ensure uniform curing of the repair area.

The lamps should be centered directly over the repair at a distance of about 30 in. The setup is ideal to attain the recommended 130° F. curing temperature, provided the surrounding areas are at room temperature (70° F.). Warmer or colder surrounding areas will require that the heat lamps be adjusted to the prevailing condition. Caution must be used when working under extremely cold conditions, since a temperature differential of 150° or more will cause buckling of the surrounding skin surfaces because of thermal expansion.

As with any ordinary light bulbs, the infrared bulbs require little or no maintenance; however, the support stands, wiring, and switches should be handled carefully and maintained properly.

### Fire Precautions

The potential of a fire hazard generally exists in the area of bonded honeycomb repairs because of the low flash point of the repair materials, such as cleaning solvents, primers, and resins. Therefore, it is necessary that all fire precautions be observed closely. Certain fire safety prevention equipment, such as utility cans, flammable-waste cans, and vapor- and explosion-proof lights, should be used.

With the potential of fire hazards in a honeycomb repair area, it is necessary to make sure that a suitable fire extinguisher is on hand or is located nearby and ready for use, if necessary. The extinguishing agents for all the materials used in bonded honeycomb repairs are dry chemicals or carbon dioxide; thus, the standard $CO_2$ fire extinguishers should be on hand for use in areas where bonded honeycomb structures will be repaired.

### Handtools and Equipment

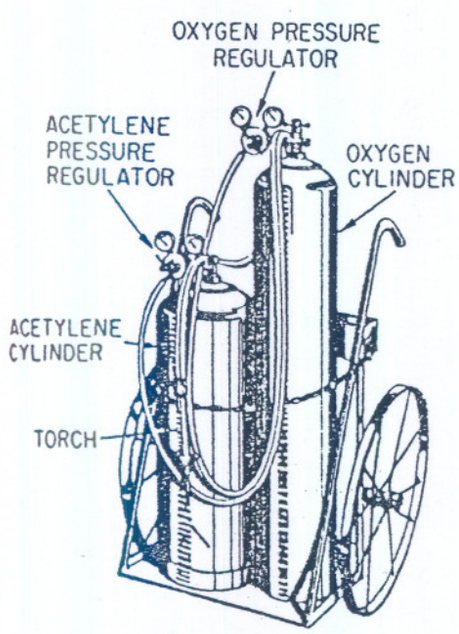
In addition to the tools and equipment described in the preceding paragraphs, standard handtools and shop equipment are utilized in the repair of bonded honeycomb structures. Standard handtools and shop equipment used in the shop include an airframe mechanic's tool kit, face shields, scissors, power shear, drill press, horizontal and vertical belt sanders, contour metal-cutting saw, and pneumatic hand drills. The general uses and maintenance of these standard tools and equipment should be familiar to any airframe mechanic.

# Welding

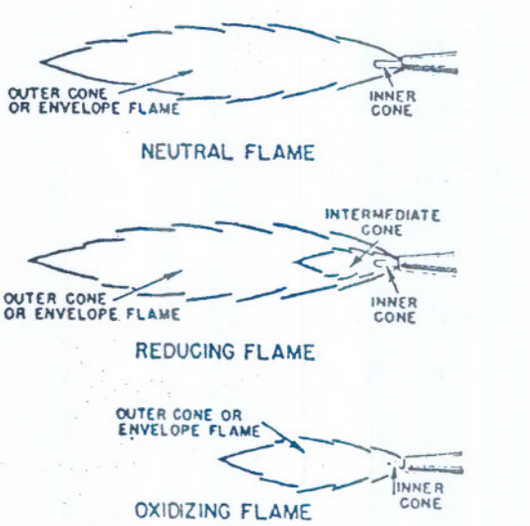
جوش کاری اتصال دائم قطعات به یکدیگر با استفاده از حرارت می باشد . در یک طریق ابتدائی موسوم به **forge welding** دو قطعه مورد نظر به حدی گرم می شوند تا به حالت نسبتاً خمیری در آمده و سپس از طریق چکش کاری به یکدیگر وصل می شوند ولی روش رایج به **fusion welding** موسوم است که در این طریق سطح قطعات مورد نظر ذوب گشته و به یکدیگر متصل می شوند و در این میان ممکن است از یک میل جوش **welding rod** برای ایجاد اتصال قوی تر سود برده شود ضمن اینکه برای جلوگیری از زنگ زدن **flux** نیز بکار می رود . حرارت مورد نیاز جوشکاری می تواند بطور گازی و برقی فراهم گردد .

**Gas welding** - در این طریقه از گاز استیلن ($C_2H_2$) و اکسیژن برای ایجاد شعله استفاده میشود یعنی از دو منبع جداگانه از گاز اکسیژن و استیلن بطور یکسان وارد مشعل جوشکاری (**torch**) شده و به وسیله ای آتش زده می شوند . چنین شعله ای در مرکز حدود **6300F** حرارت داشته و مناسب برای **fusion** است و مشعل ، روز نه اش طوری ساخته شده که حرارت و شعله بر سطح کوچکی محدود می گردد تا تأثیر آن ماکزیمم شود .

بهترین شعله آن است که استیلن و اکسیژن بطور یکسان تنظیم گردند و به چنین شعله ای **neutral** می گویند . چون استیلن یک هیدروکربور است از اینرو اگر در مخلوط اشتعال استیلن بیشتر از اکسیژن باشد به شعله **carburizing flame** یا **reducing flame** می گویند . واضح است که به هنگام جوشکاری قطعات آهنی مقداری از این کربن اضافی با قطعات تحت جوشکاری ترکیب شده و آنها را **Harden** نموده و طبیعی است به **brittleness** خواهد افزود از اینرو از چنین شعله ای اجتناب باید گردد . برعکس اگر به هنگام تنظیم اکسیژن بیشتر بیابد اکسیژن اضافی به فلزات تحت جوشکاری حمله نموده و باعث اکسیداسیون خواهد شد از اینرو به چنین شعله ای **oxidzing flame** می گویند که از آن نیز باید اجتناب گردد .




A portable welding outfit.




Neutral, reducing, and oxidizing flames.

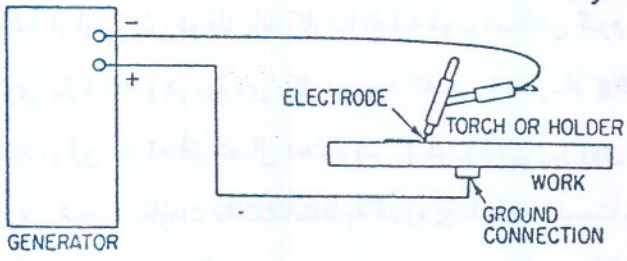
**Arc welding** - در این طریقه حرارت شدید مورد نیاز به طریقه جرقهٔ الکتریکی بین دو الکترود و یا یک الکترود و قطعه مورد نظر ایجاد می شود و محسنات این طریقه عبارتند از :

۱- قوس الکتریکی دارای خاصیت **carburizing** یا**oxidizing** نیست و این خود یک حسن بزرگ به هنگامی است که شعله مورد نیاز شدید است .

۲- سرعت عمل و آمادگی کاربرد این طریقه بیشتر بوده و جوشکاری بهتری انجام می شود .

روشهای رایج جوشکاری برقی عبارتند از :

۱- **Metalic Arc Welding** - در این طریقه یک مفتول جوشکاری پوشیده از **flux** به عنوان الکترود مورد استفاده قرار می گیرد و لازم است که جنس آن با جنس قطعات جوشکاری سازگار باشد **flux** ماده ای است که نقش تفاله را داشته و نقطه ذوب آن پائین است از این رو با ذوب زود هنگام خویش محل جوشکاری را پوشانده و از حمله اکسیژن هوا یا سایر عناصر هم چون کربن که می تواند کیفیت جوشکاری را متزلزل سازد جلوگیری به عمل آورد . خود مفتول نیز با ذوب خویش محل اتصال را بهتر پر می کند از اینرو به آن **Filler Rod** نیز می گویند و بعد از اتمام جوشکاری و سرد شدن می توان با سنگ سمباده برقی سطح منطقه جوشکاری را پرداخت نمود .




*An arc-welding circuit.*

۲- **Inert Gas Arc Welding** - در شیمی خوانده ایم که گازهای مخصوصی وجود دارند که میل ترکیبی با اجسام دیگر ندارند که از میان آنها گاز آرگون را می توان نام برد بنابراین اگر گازهائی از این قبیل منطقه جوش را فرا گیرد با توجه به عدم میل ترکیبی اش می تواند محافظ خوبی برای جلوگیری از اکسیداسیون بشمار آید در ضمن همانطوری که قبلاً اشاره کردیم فلز تنگستن نقطه ذوب بسیار بالائی دارد بنابراین در این روش از یک الکترود تنگستن استفاده می شود و به **flux** نیز نیازی نیست . جرقه ایجاد شده بین الکترود تنگستن و قطعه مورد جوش سبب اتصال دائم شده و در صورت نیاز می توان از مفتول نیز استفاده نمود چون جریان گاز خنثی منطقه را فرا می گیرد خطر اکسیداسیون منتفی است .

۳ - **Hydrogen Arc Welding** - این روش را می توان ترکیبی از جوش برقی و گازی نامید و برای جوش کاری فلزاتی بکار می رود که نقطه ذوب آنها بسیار بالا است . در این روش از الکترود تنگستن استفاده می شود که ایجاد جرقه بوسیله جریان **AC** می نماید و جریانی از گاز ئیدروژن به محل جرقه خورانده می شود . در اثر تجزیه هیدروژن و ترکیب مجدد آن حرارت بسیار شدیدی آزاد می شود .

۴ – Resistance Welding – با این روش که به spot welding موسوم است آشنا هستیم و بیشتر در کاربردهای ساده مورد استفاده است . در این طریقه دو قطعه مورد نظر را بر روی هم قرار داده و بین دو الکترود دستگاه قرار می دهیم و سپس با نزدیک کردن دو الکترود به هم یک جریان با ولتاژ کم و آمپر بسیار زیاد از قطعه گذشته و حرارت زیاد حاصله باعث اتصال دائم می گردد ضمن اینکه فشار خود الکترود نیز به این اتصال کمک می کند ضمناً در این سیستم از یک کنترل کننده جریان (آمپر) استفاده می گردد . دستگاه جوش این سیستم در واقع یک ترانسفورماتور کاهنده (Step down) است که ولتاژ را کم کرده ولی آمپر را بالا می برد .

# BRAZING

BRAZING با Welding دارای اختلافات زیر است :

۱– قطعاتی که قرار است به هم متصل شوند تا نقطه ذوب حرارت نمی بیند زیرا که نقطه ذوب فلز اتصال دهنده بمراتب کمتر از فلزات پایه است .

۲– جنس فلز اتصال دهنده با فلزات پایه یکی نیست .

۳– دو فلز مورد اتصال ممکن است با هم تفاوت داشته باشند .

همانطوری که گفته شد در این روش دو فلز پایه کار تا نقطه ذوب سطحی گرم نمی شوند از این رو BRAZING به حرارت کمتری نیاز داشته و در مواردی بکار می رود که حرارت زیاد Welding ممکن است سبب صدمه دیدن قطعات شود در این طریقه فلز اتصال دهنده پس از ذوب شدن بر روی دو قطعه ریخته و در اثر جاذبه ملکولی بهم متصل می شوند . مقاومت BRAZING به اندازه Welding نیست چون حرارت کمتری بکار می رود و از این روش برای اتصال دو فلز یا آلیاژ غیر همجنس مانند چدن و آهن ، آلیاژهای فولاد بهم و .... استفاده می شود و جنس فلز اتصال دهنده بستگی به کار دارد و می تواند از برنج یا آلیاژهای نقره و مس و .... باشد .

# SOLDERING

این طریقه دارای مقاومت کمتری نسبت به روش قبل بوده و برای مصارف کم اهمیت تری هم چون اتصالات الکتریکی و لحیم کاری درزهای مکانیکی به طوری که Leak proof باشد استفاده می شود و فلز لحیم کاری معمولاً آلیاژی از قلع و سرب به نسبت مساوی است . بهنگام لحیم کاری ممکن است از یک Flux نیز استفاده شود و چون این روش نسبت به نوع قبل نرم تر است به آن Soft soldering گفته و به BRAZING اصطلاحاً hard soldering می گویند .

Fluxes – همانطوری که گفتیم برای جوشکاری و لحیم کاری از Flux استفاده می شود تا از اکسیداسیون محل اتصال جلوگیری نماید و در بعضی موارد هر نوع ماده اکسید شده ای را که از قبل در محل وجود داشته باشد تمیز می نماید و نوع Flux در موارد مختلف فرق می کند مثلاً برای BRAZING می تواند Borax و fluride بوده ولی برای لحیم کاری Zinc Chloride است .

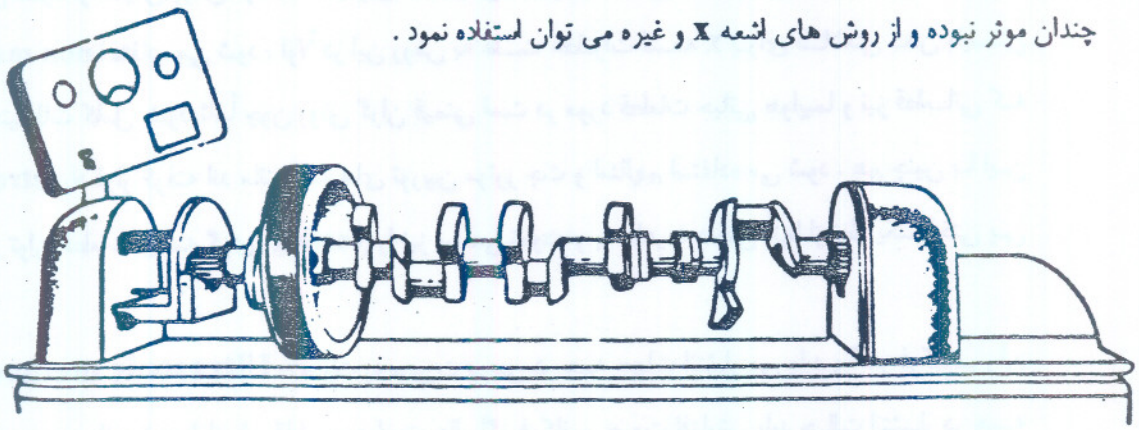
# NDI = Non - Destructive Inspection

بازرسی ظاهری (Visual inspection) یکی از ضروری ترین بخش های کار maintenace و تعمیرات بوده و در این بازرسی ها توجه زیادی به کشف ترکها (cracks) مبذول می گردد و این مسلم است که با روش چشمی نمیتوان ترکهای موئین (flaws) را به سادگی کشف نمود از این رو روشهای علمی متعددی برای کشف ترک ها و عیبهای (faults) ظاهری و درونی وجود دارد که به ترتیب اقدام به تشریح آنها می نمائیم :

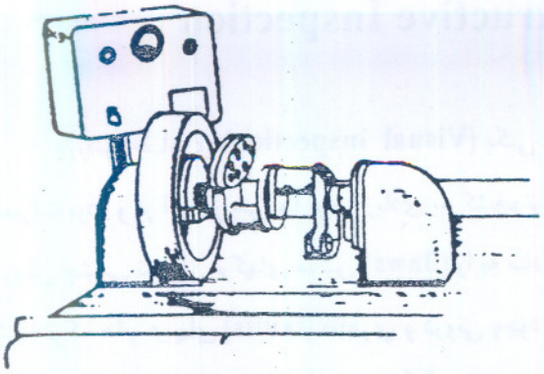
**Magnetic crack detection** - این روش فقط در مورد قطعاتی قابل اجرا است که جنس آنها از فلزات خانواده آهن (ferrous metal) باشد . همانطور که در علم magnetism خواندیم هر آهن ربا (magnet) را خطوط قوای مغناطیسی فرا گرفته است و به عبارت دیگر هر آهن ربا دارای حوزه مغناطیسی است که به شکل خطوط قوای اطراف آن اصطلاحاً طیف مغناطیسی magnetic pattern می گویند به طوری که اگر روی آهن ربا را قطعه ای کاغذی قرار داده و براده آهن روی آن بریزیم ملاحظه می کنیم که این براده ها آرایش خاصی به خود می گیرند که دقیقاً شکل طیف مغناطیسی آهن ربا را تجسم می بخشد . در ضمن در تئوری مغناطیس خواندیم که بهترین مسیر برای خطوط قوای مغناطیسی فلزات آهنی بوده و در رأس آنها softiron قرار دارد از این رو اگر در داخل یک قطعه آهنی ، یکنواختی به هر شکلی همچون یک ترک از دست رود در مسیر خطوط قوای مغناطیسی و به عبارت بهتر طیف مغناطیسی تغییری حاصل خواهد شد و همین نکته پایه و اساس ترک یابی مغناطیسی را تشکیل می دهد . پس ابتدا قطعه را کاملاً تمیز نموده و سپس آنرا به طریق الکتریکی آهنربا می کنند و پس از آن روی قطعه براده آهن پاشیده و در صورت وجود ترک طیف با توجه به شکل مخصوصش آنرا آشکار می سازد .

نکته ای که در اینجا قابل ذکر است این استکه اگر ترک به موازات خطوط قوای مغناطیسی باشد قابل detect نخواهد بود از اینرو قطعه را بایستی هم به صورت عرضی circular magnetisation هم به طریق طولی longitudinal magnetisation آهن ربا نمود . پس از اتمام ترک یابی باید قطعه را Demagnetize نموده و پس از تمیز کردن از براده در صورت عدم وجود عیب به کار عودت داد .

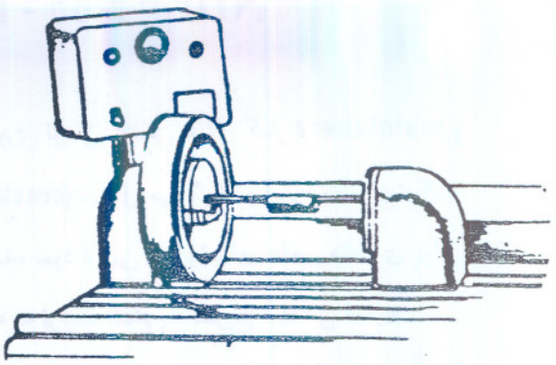
**Hint** - با روش های مغناطیسی ترک های موجود در سطح و نیز زیرین ولی نزدیک به سطح در قطعات آهنی قابل کشف است و در صورتی که ترک های داخلی در عمق قطعه باشد روش مغناطیسی چندان موثر نبوده و از روش های اشعه x و غیره می توان استفاده نمود .



Longitudinal magnetization of crankshaft



Circular magnetization of crankshaft.



Circular magnetization of piston pin

**Fluorscent inspection method** - در این روش نیز باید ابتدا قطعه را با مایعات مخصوص (cleaner) تمیز نموده و سپس آنرا در یک محلول نافذ (penetrant) فروبرده و به مایع زمان کافی برای نفوذ در ترک (flaw) میدهیم و سپس قطعه را در یک اطاق تاریک زیر نور ماوراء بنفش (ultra violet) مشاهده و نظاره می نمائیم چنانچه ترکی وجود داشته باشد به علت وجود مایع نافذ در آن با رنگ زیبائی قابل رویت است .

**Dye penetrant method** - در این متد نیز باید ابتدا قطعه را کاملاً شسته و تمیز نمائیم تا مبادا وجود کثافات خارجی باعث قضاوت غلط گردد و پس از تمیز شدن و خشک کردن قطعه را ترجیحاً کمی گرم نیز می کنند (حدود70 تا 130 F ) سپس ماده رنگی توسط قوطی spray روی آن پاشیده و یا قطعه را در ماده رنگی فرو می بریم تا این ماده رنگی نافذ (penetrant) در ترک در صورت وجود نفوذ نماید سپس پس از خشک شدن قطعه را شستشو می کنیم و در نهایت ماده ظاهر کننده یعنی developer را بروی قطعه می پاشیم در صورتی که ترکی وجود داشته باشد ماده ظاهر کننده برمایع نافذ داخل ترک اثر نموده و محل ترک را بصورت خط قرمز روشن آشکار می نماید .

**Hint** - دو روش فوق الذکر فقط برای ترک های سطحی (surface cracks) قابل اعمال می باشند و در مورد کلیه فلزات قابل اجراست به شرطی که قطعه غیر متخلخل (Non porous) باشد .

**Radiographic inspection** - با روش عکس برداری اشعه x در امور پزشکی آشنا هستیم که با مطالعه عکس توسط پزشک به اشکالات داخلی بدن هم چون ترک های موثین (flaws) در استخوان ها پی برده می شود از همین روش در صنعت برای تشخیص عیوب داخلی قطعات چه magnetic و چه non magnetic استفاده می شود . اولاً در این روش به علت خطرات اشعه x برای سلامتی بدن بایستی رعایت احتیاطات کامل بشود ثانیاً چون روش گران قیمتی است در مورد قطعات حیاتی هواپیما و نیز قطعاتی که تحت stress زیاد قرار گرفته اند مانند تیغه های توربین موتور جت و امثالهم استفاده می شود . هم چنین با این روش می توان قطعات ریخته گری (casting) را نیز بررسی نموده و به ماهیت داخلی آنها از نظر یکنواختی پی برد .

**Ultrasonic method** - صوت به صورت موجی در همه جهات انتشار می یابد و اگر فرکانس آن در محدوده معینی باشد توسط انسان قابل سمع است حال اگر فرکانس صوت افزایش یابد حالت انتشار در همه

جهات آن بتدریج محدود گشته و هر چه فرکانس افزایش یابد این حالت تمرکز شدت می یابد و در این تکنیک از همین نکته استفاده شده است بدین ترتیب که بوسیله یک دستگاه الکترونیکی چنین امواجی تولید گشته و بوسیله یک **probe** در جهت مخصوص به داخل قطعه فرستاده می شود حال اگر هرنوع **defect** در داخل قطعه در مسیر امواج فوق وجود داشته باشد سبب بازگشت امواج به دستگاه شده و روی صفحه اسیلوسکوپ وجود ترک و عیب با محاسبه زمان رفت و برگشت موج نشان داده می شود . با این روش می توان ترک ها و **faults** بسیار ریز را که روش اشعه **x** نیز قادر به کشف آن نیست کشف نمود و حُسن این سیستم در این است که فقط کافی است یک طرف قطعه جهت بازرسی در دسترس باشد .

**Eddy Current Inspection** - قبلاً با جریان برق از نوع **Eddy Current** در مواردی مواجه شده ایم مثلاً در درس آلات دقیق بهنگام مطالعه طرز کار **magnetic RPM indicator** با استفاده از خواص این جریان دور موتور را مشخص نمودیم . بطور کلی **Eddy Current** به برقی گفته می شود که نه در سیم بلکه در صفحات و قطعات فلزی ایجاد شود که چون دارای **character** خاصی است می توان در قطعه مورد نظر **Eddy Current** به طریقی القا نموده و سپس با مطالعه آثار حرکت این جریان در داخل قطعه مورد نظر نه تنها می توان ترک های داخلی آنرا پیدا نمود بلکه اصولاً هر نوع عیب و ایرادی را که در خواص مکانیکی ، متالوژی و شیمیائی داخلی قطعه وجود داشته باشد کشف نمود .

**Crack detection by anodizing** - در فصول قبل دیدیم که ورق آلیاژ آلومینیوم را با یک لایه آلومینیوم خالص پوشش داده و آنرا **Alclad** می نامند که به علت وجود این پوسته آلومینیوم خالص در مقابل **corrosion** مقاوم هستند . روش **cladding** فقط برای صفحات صاف و به عبارت بهتر ورق آلیاژ آلومینیوم (**sheets**) قابل اجرا است بنابراین برای قطعات آلیاژ آلومینیومی که شکل غیر یکنواختی دارند برای محافظت در مقابل **corrosion** آنها را با یک روش الکتریکی شیمیائی محافظت می کنند که چون قطعه در این روش در قطب مثبت (**anode**) قرار داده می شود به این روش **anodizing** می گویند در این روش یک لایه از اکسید آلومینیوم روی قطعه را فرا میگیرد حال اگر قطعه دارای ترک باشد عدم یک نواختی این پوشش آنرا افشاء خواهد نمود .

# CORROSION PROTECTION

**ماهیت و علل زنگ زدگی** - همه ما با واژه **corrosion** و پیامدهـای نـامطلوب آن آشـنا هسـتیم در ایـن فصل هدف آشنائی بهتر با ماهیت و علل به وجود آمدن می باشد .

به غیر از **dry oxidation** که در قطعات داغ موتورهـای جـت (**hot section**) روی مـی دهـد اصـولاً **corrosion** در شرایطی رخ می دهد که فلز با آب چه به صورت مـایع و چـه بصـورت رطوبـت (**moisture**) در تماس باشد . علاوه بر آن علت دیگر زنگ زدگی را می توان فعل و انفعال **Electrochemical** دانست که بیـن دو فلز غیر همنام در صورت تماس با یکدیگر پیش می آیـد در ایـن حـالت دو فـلز یـک پیـل کوچـک الکتریکـی تشکیل می دهند که الکترولیت ( محلول ) این پیل همانا رطوبت موجود در هواست و هر چه مقدار املاح موجـود در هوا بیشتر باشد تأثیر این الکترولیت بیشتر بوده و زنگ زدگی شدید تر خواهد بود و دو فلز قطب های این پیـل را تشکیل می دهند و فلزی که میل ترکیبی آن با اکسیژن هوا بیشتر است تشکیل قطـب مثبـت را داده و اکسـید خواهد شد و فلزی که میل ترکیبـی آن کمـتر اسـت تشـکیل قطـب منفـی را داده و تقریبـاً دسـت نخـورده بـاقی می ماند. باران ، بخار آب ، رطوبت و نیز آلودگی های متعدد موجود در هوا نظیر بخار گوگرد و اگزوز اتومبیل ها و کارخانجات نیز از عوامل تشدید کننده **corrosion** هستند . اثر تضعیف کننده **corrosion** را عواملی هـم چـون **stresses** چه داخلی و چه خارجی تشدید نموده و باعث **premature failure** قطعه می گردند .

## Types of Corrosion

تقریباً همه فلزات مورد استفاده در هواپیما در معرض **corrosion** قرار دارند که ممکـن اسـت سـطحی و ظاهری باشد که علاج آن ساده است و نیز ممکن است داخلی باشد که تشخیصـ آن مشکل تر بوده و بایسـتی از روش های مدرن همچون **X- Ray** (**Radiography**) , **Ultrasonic** , **Eddy current** استفاده نمود و در صورت اثبات چنین عیبی قطعه را بایستی تعویض نمود .

۱- **Surface corrosion** - همانطور که قبلاً تشریح کردیم تماس مستقیم با اکسیژن عامل چنین زنگ زدگی است و فلزاتی مانند آهن و آلیاژهـای آلومینیـوم و منـیزیم در صورتیکـه فـاقد پوشـش لازم باشـند در معرض چنین زنگ زدگی قرار داشته بنابراین بایستی به طریقی که در آتیه شرح خواهیم داد محافظت گردند .

۲ - **Dissimilar metal corrosion** – همانطور کـه قبـلاً شـرح دادیـم دو فـلز غـیر همنـام در صورت تماس تشکیل یک پیل الکتریکی را داده و موجبات **corrosion** را فراهم می آورند از ایـن رو بخصـوص در صنعت هواپیمائی بایستی حتی المقدور از چنین حالتی اجتناب کرده و در صورت ناگریزی بایستی سطح تمـاس دو فلز را توسط عایقی از یکدیگر جدا نگاه داشت .

۳- **Pitting corrosion** – این نوع زنگ زدگی بیشتر در نقاطی به وجود می آید که پوشش محافظ آنها بطور اتفاقی یا در اثر اهمال در نقاطی از بین رفته باشد و به صورت لکه های کوچکی در سطح جسـم ظـاهر شده و اگر به سادگی بتوان آنها را پاک کرد مسئله مهـمی نبوده ولی در غیر این صورت بیانگر نفوذ **corrosion** به عمق بوده و قطعه بایستی تعویض گردد . آلیاژهای آلومینیوم و نیز فولاد با پوشش کرم یا نیکل در معرض این نوع زنگ زدگی قرار دارند .

۴- **Intergrannular corrosion** – زنگ زدگی کـه بـه رشـته هـای داخلـی فـلز حملـه نمـاید اصطلاحاً چنین نامیده می شود و از فقدان یکنواختی در ساختار داخلی فلز ناشی می شود و همانطور که قبلاً اشاره داشتیم **heat treatment** نامناسب و یا بی دقتی در انجام صحیح آن یکـی از علـل اصلـی چنیـن **corrosion** است و گفتنی است که آلیاژهای آلومینیوم **2024** و **7075** در معرض چنین زنگ زدگی قرار دارند .

۵- **Stress corrosion** – این نوع زنگ زدگی در قطعاتی پیش می آیـد کـه بـرای مدتـی طولانـی تحت شرایط نامناسب از نظر **corrosion** در معرض **tensil stress** قرار داشته باشند. یک چنین تنشـی ممکـن است در قطعه به هنگام ساخت یا **assembly** در آن القاء شده باشد .

۶- **Fretting corrosion** – این نوع زنگ زدگی معمولاً بین دو قطعه که نسبت به یکدیگر حرکت نسبی اندک و لقی پیدا کنند پیش می آید . در این حالت تماس مالشی قسمتی از لایه ضد زنگ محافظ سـطح را از بین برده و ذرات ریز فلز را از سطح جدا می نماید . این ذرات ریـز همچـون مـواد سـاینده (**abrasive**) عمـل کرده و مانع تشکیل لایه محافظ مجدد می گردد ( بصورت اکسید فلز ) بنابراین فلز اصلـی را در معـرض اتمسـفر نگه می دارد . یک چنیـن زنـگ زدگـی کـه مـی توانـد سـرانجام منجـر بـه تـرک و **fatigue** شـود در **gears** و **jack screws** و **splines** ایجاد می شود .

۷- **Corrosion Fatigue** – این در حقیقت یک نوع **Stress corrosion** است زیـرا در قطعـاتی ایجاد می شود که در یک محیط **corrosive** تحـت تـأثیر **cyclic stresses** و **alternating stresses** قـرار دارند . زنگ زدگی ممکن است در ته یک حفره (**pit**) کم عمق (**shallow**) در منطقـه تحـت تنـش (**stressed**) آغاز گردیده و نهایتاً منجر به ترک نیز می گردد .

# CORROSION PROTECTION

بهترین و رایجترین روش برای جلوگیری از زنگ زدگی قطعات پوشاندن آن با لایه ای از یک ماده مقاوم در مقابل زنگ زدگی می باشد و رایجتر ین این روش ها عبارتند از :

۱- **Chemical & Electrochemical treatments** - با این روش ها معمولاً لایه ای از اکسید فلز یا مواد ضد زنگ دیگر نظیر فسفاتها و کروماتها را روی قطعه پوشش می دهند مثلاً قطعات فولادی به روش **phosphating** و آلیاژهای آلومینیوم به روش **anodizing** و آلیاژهای منیزیم به روش **chromating** محافظت می گردند که در مورد هر یک شرح مختصری داده می شود .

**a - phosphating** - در این روش قطعه فولادی را در محلولی از فسفات آهن داغ فرو برده و پس از مدتی لایه ای از فسفات آهن و اکسید آهن تیره رنگ در روی آن به وجود می آید که خود زمینه مناسبی برای رنگ آمیزی های بعدی نیز محسوب می گردد .

**b - Anodizing** - این طریقه در مورد قطعاتی اعمال می شود که جنس شان از آلیاژ آلومینیوم بوده و حالت مسطحی ندارند که بشود **cladding** در مورد آنها اعمال نمود . در این طریقه الکتروشیمیائی لایه ای از اکسید آلومینیوم روی قطعه را می پوشاند که در مقابل **corrosion** مقاوم بوده و زمینه ( آستر ) مناسبی برای پوشش های بعدی نیز فراهم می آید و همانطوری که قبلاً اشاره کردیم چنانچه سطح جسم مورد نظر ترک داشته باشد به سادگی پس از تشکیل لایه محافظ افشاء خواهد شد . رنگ لایه اکسید آلومینیوم محافظ معمولاً خاکستری است . کیفیت آنرا می توان از نظر ظاهری یا تماس با دست (**feel**) یا بروش الکتریکی و یا رنگی (**Dye**) تست کرد .

در این طریقه در داخل تشتکی پر از اسید کرمیک یا اسید سولفوریک رقیق قطعه را از قطب مثبت (**anode**) که از جنس مس است آویزان کرده و در قطب منفی (**cathode**) صفحات فولادی آویزان کرده و جریان برق **DC** ( مثبت به قطعه مورد نظر ، منفی به صفحات فولادی ) را می گذرانند . عبور جریان **DC** باعث می شود که سطح قطعه آلومینیومی مورد نظر اکسید شود .

**c - Chromating - Chromate treatment** - این روش مخصوص آلیاژهای منیزیم است و قطعه را پس از تمیز کردن کامل بدون تماس دست در داخل محلول **Chromate** در حال جوش فرو برده و برای مدت زمان معینی نگه می داریم سپس آنرا خارج نموده و با آب گرم شسته و با هوای داغ خشک می کنیم بدین ترتیب لایه نازکی از کرومات روی قطعه را می پوشاند که بایستی از نظر رنگ حالت یکنواختی

داشته باشد ضمن اینکه پایه مناسبی برای رنگ کارهای بعدی به وجود می آورد و از اینرو بایستی بلافاصله بعد از خشک شدن آنرا با ماده مناسبی رنگ کرد .

# METALLIC COATING

در این روش قطعات را بوسیله فلزی که در مقابل **corrosion** مقاوم است می پوشانند و یک مورد از آنرا در مورد **alclad** دیدیم در مورد فولاد نیز یا بصورت آبکاری الکتریکی **Electro Plating** پوششی از کادمیوم و یا نیکل کروم ایجاد کرده و یا به روش **metallizing** از زنگ زدگی محافظت می کنیم .

در این روش فلز مقاوم در مقابل زنگ زدگی را به صورت مذاب با فشار روی قطعه می پاشیم مثلاً بعضی از قطعات فولادی هواپیما توسط پاشیدن لایه ای از آلومینیوم خالص مذاب روی سطح آنها محافظت می شوند .

**Painting** – رنگ زدن آخرین مرحله از عملیاتی است که بمنظور محافظت یک قطعه در مقابل **corrosion** روی آن انجام می شود و معمولاً شامل یک لایه آستری و یک یا چند لایه پوشش نهائی می باشد. در قطعات هواپیما بعنوان **primer paint** از **Zinc chromate** استفاده گسترده ای بعمل می آید که بعد از مصرف روی قطعه رنگ سبز مایل به زرد به خود می گیرد . این **primer** بعد از ۵ دقیقه خشک و پس از ۶ ساعت کاملاً خشک گشته و آماده برای استفاده و یا رنگ زدن روی آن می باشد .

In the manufacture and repair of aircraft, many plastic materials are used because they can be manufactured to provide strength, light weight, freedom from corrosion, good insulating properties, and other desirable features. Furthermore, the manufacture of plastic parts is often less expensive than the manufacture of parts with other materials.

### TYPES OF PLASTICS

Plastic materials may be classified in a number of ways; however, there are two general types, based on their reaction to heat: **thermoplastic** and **thermosetting** plastics. The thermoplastic material becomes softened by the application of heat, and the thermosetting material is hardened by heat. This means, of course, that a thermosetting material cannot be reshaped after it has been formed and set by heat. Thermoplastic materials can be heated and reshaped a number of times.

Plastics are also classified according to the material from which they are made. For transparent sheet to be used in aircraft windshields and windows, **acrylic** and **cellulose acetate** plastics are used. For the manufacture of parts, the synthetic resins **polyester, epoxy,** and **phenolic** are most often used. The resins are usually reinforced with various fabrics or glass fiber to provide a maximum of durability and strength.

### WINDSHIELDS AND WINDOWS

The most suitable clear plastic material for windows and windshields is acrylic sheet. One of the best known brand names for this material is Plexiglas, manufactured by the Rohm and Haas Company. This material is manufactured in almost any size and thickness desired and can be used for many purposes other than windows and windshields.

Great care should be exercised in the handling and storing of acrylic sheet. The surface can be easily scratched if it is allowed to rub against any kind of a rough surface. In handling the material it is best that soft gloves be worn and that the sheets be stored on edge in a specially prepared rack. The new sheet is often protected with a paper mask, which is held to the surface by an adhesive. This masking paper can be easily peeled off when the material is installed. Acrylic sheet can be stored horizontally with the sheets stacked together provided that the supporting surface is perfectly flat and smooth and that no particles of metal, wood chips, sand, or other foreign material are on the surface. If the sheet is masked, there will not be so much danger of damage as otherwise. When the material is stacked horizontally, large sheets should be placed at the bottom of the stack and then smaller sheets can be stacked in order of their size. This is to assure that all sheets have full support so that they will not sag and become deformed.

In the replacement of windows and windshields in aircraft it is essential to make sure that the type of material to be installed is of the same quality as that being replaced. There are many types of transparent plastics, and their properties vary greatly, particularly with respect to expansion characteristics, brittleness under low temperatures, strength, etc. It may be noted here that acrylic plastics are stronger and more durable than the cellulose acetate types. Furthermore, the acrylics have a lower expansion coefficient.

When an acrylic plastic panel is installed, it should never be forced into place to make it fit. If the fit is poor, the panel should be trimmed or a new one should be obtained. When an acrylic plastic sheet is clamped or bolted in place, care must be taken that the material is not placed under excessive stress. If it is held in place by a nut and bolt or machine screw, the nut must not be turned up tight. The correct method is to tighten the nut to a firm fit and then back it off one turn. The purpose of this procedure is to allow for expansion and contraction of the material and to avoid crushing the point of attachment. In many cases where bolts are used to hold plastic sheet in place, the bolts are used with spacers or stops, which prevent overtightening. In the replacement of panels, the spacers, washers, and other parts should be installed as in the original configuration. The edges of plastic sheet should be mounted between rubber, cork, or other protective material to reduce the effects of vibration and distribute compressive stresses on the material.

Acrylic plastics expand and contract about three times as much as the metal channels in which they are installed. It is therefore necessary that adequate provision be made to allow for this expansion and contraction. Clearances of $\frac{1}{8}$ in. minimum should be allowed around the edges of small panels, and larger clearances around the edges of large panels. Where holes are drilled in the plastic material for bolts or screws, the holes should be oversize by $\frac{1}{8}$ in. diameter and centered so that there will be no binding or cracking at the edges of the holes. Slotted holes are also recommended.

Panels of plastic must be mounted in the channels to a sufficient depth to prevent the panels from coming out when they shrink as the result of cold temperatures. Cellulose acetate panels are mounted in the same manner as acrylics; however, allowance must be made for greater expansion and contraction.

Plastic panels may be repaired when cracked or damaged, but when the damage is extensive, it is best to replace the panel with a new one. Small cracks can be stopped with $\frac{1}{8}$-in. holes drilled at the end of the crack. Cracks and holes may be patched in accordance with directions given by the manufacturer of the plastic or according to directions provided by the FAA in Advisory Circular 43.13-1.

Clear plastic panels should be cleaned by washing with soap and water. Solvents and chemical cleaners should not be used because there is danger that the cleaner will attack or soften the surface of the plastic. If, after dirt and grease are removed, no great amount of scratching is visible, the plastic should be finished with a good grade of commercial wax. The wax should be applied in a thin, even coat and brought to a high polish by rubbing lightly with a soft cloth. If the surface of a plastic panel has small scratches, it can be polished with a fine grade of polish and a soft cloth or buffing wheel. Care must be taken that the surface is not heated appreciably because this will cause the material to soften and damage may result.