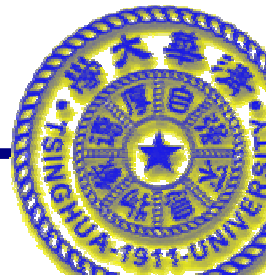




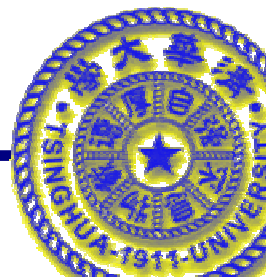
问题

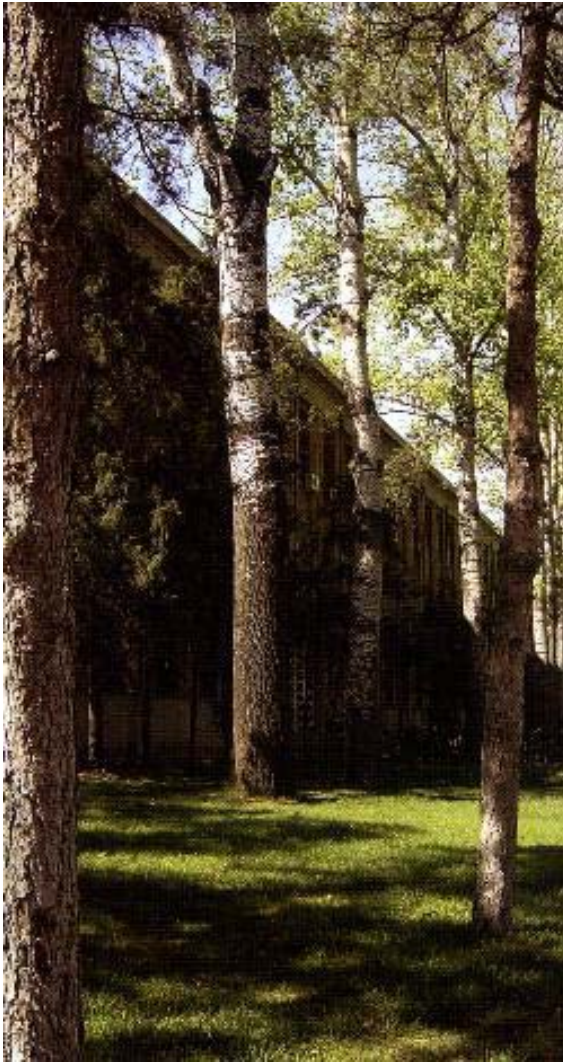
焊接电弧的能量转换？



焊接电弧能量转换

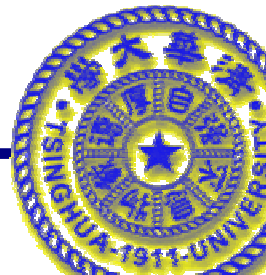
- 焊接电弧燃烧过程中，电能被转换为光能、热能和机械能
- 焊接时，主要利用电弧的热能和机械能来达到连接金属之目的





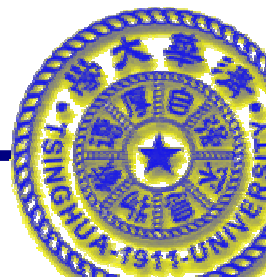
问题

焊接电弧热量如何产生？



焊接电弧热量的产生

- 焊接电源输出的电能通过电弧转换为热能
- 具有不同导电机理的电弧弧柱、阴极区、阳极区，其产热机理也不相同



弧柱产热机理

- 弧柱空间的电子在电场作用下定向运动，不断地与正离子或中性粒子碰撞，其散乱运动的动能就是电子的热能。
- 在弧柱中，外加电场能量大部分转变为热能。单位弧柱长度的电能为 IE ，其值就代表了弧柱产热能量的大小。
- 弧柱产热能量与热损失相平衡。弧柱的热能对流占80%以上，传导和辐射约为10%左右。
- 一般电弧焊接过程中，弧柱的热量中只能有很少一部分通过辐射传给焊条（丝）和工件。当电流较大而有等离子流产生时，等离子流将把弧柱的一部分热量带到工件。

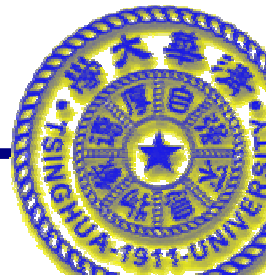


阴极区产热机理

●在阴极区，电子在阴极压降的作用下逸出阴极并受到加速作用，获得的总能量为 IU_K 。电子从阴极表面逸出时，克服阴极表面的束缚而消耗能量为 IU_ω 。电子流离开阴极区进入弧柱区时，它具有与弧柱温度相应的热能，电子流离开阴极区带走的这部分能量为 IU_T 。根据上述分析，电子流离开阴极区时能量平衡为：

$$P_K = I (U_K - U_\omega - U_T)$$

●阴极区产热主要用于加热阴极和阴极区的散热损失。焊接过程中直接加热焊条（丝）或工件的热量主要由此提供。阴极区的热量直接影响焊丝熔化或焊缝熔深。

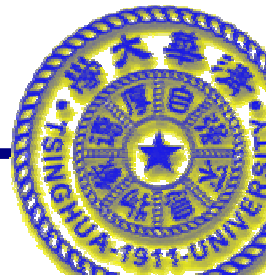


阳极区产热机理

●电子到达阳极时将带给阳极三部分能量：电子经阳极压降区被 U_A 加速而获得的动能 IU_A ，电子发射时在阴极吸收的逸出功又供给阳极 IU_ω ，从弧柱带来的与弧柱温度相对应的热能 IU_T 。因此阳极区的能量平衡为：

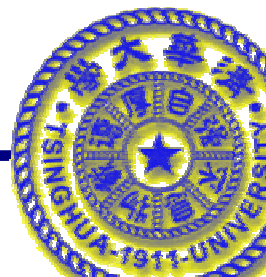
$$P_A = I (U_A + U_\omega + U_T)$$

●阳极产生的热量主要用于阳极的加热、熔化和散热损失。这也是焊接过程中可以直接利用的能量。



焊接电弧的温度分布

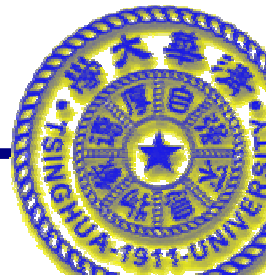
- 沿焊接电弧轴向的温度分布情况为：弧柱的温度较高，两个电极上温度较低。
- 这是因为电极温度的升高受到电极材料导热性能、熔点和沸点限制的结果。一般情况下，阳极的温度高于阴极的温度，而阴极与阳极的温度低于电极材料的沸点。





问题

焊接电弧的温度值？

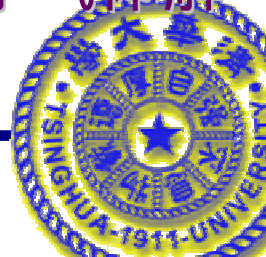


焊接电弧的温度

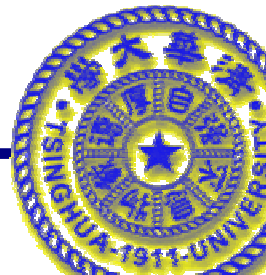
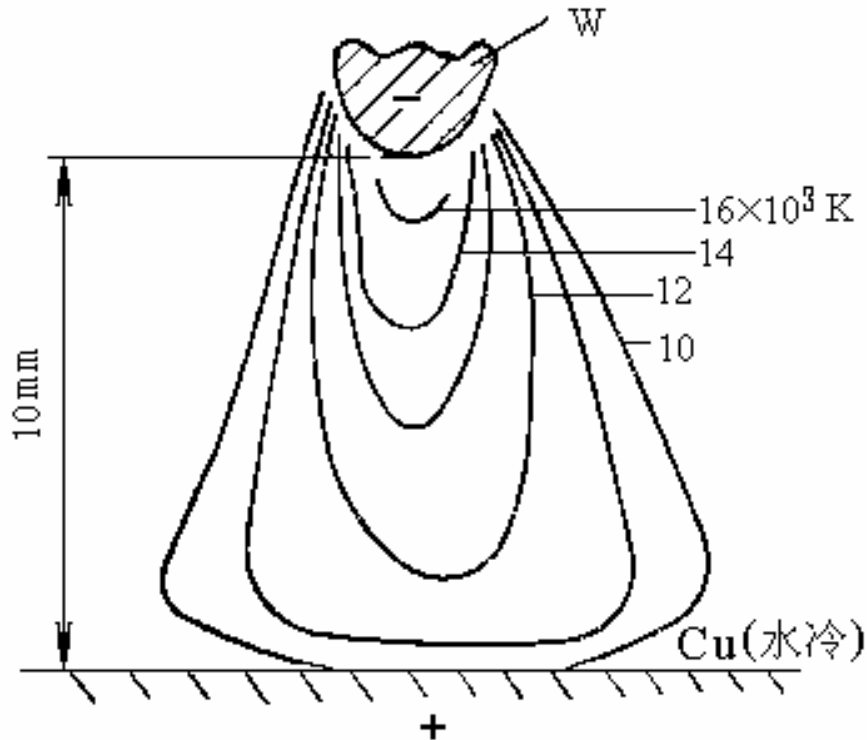
●焊接电流大小直接改变弧柱的能量密度，从而影响弧柱温度的高低。焊接电流增大，弧柱温度增加。在常压下，当电流由1—1000A变化时，弧柱温度可在5000—30000K变化。

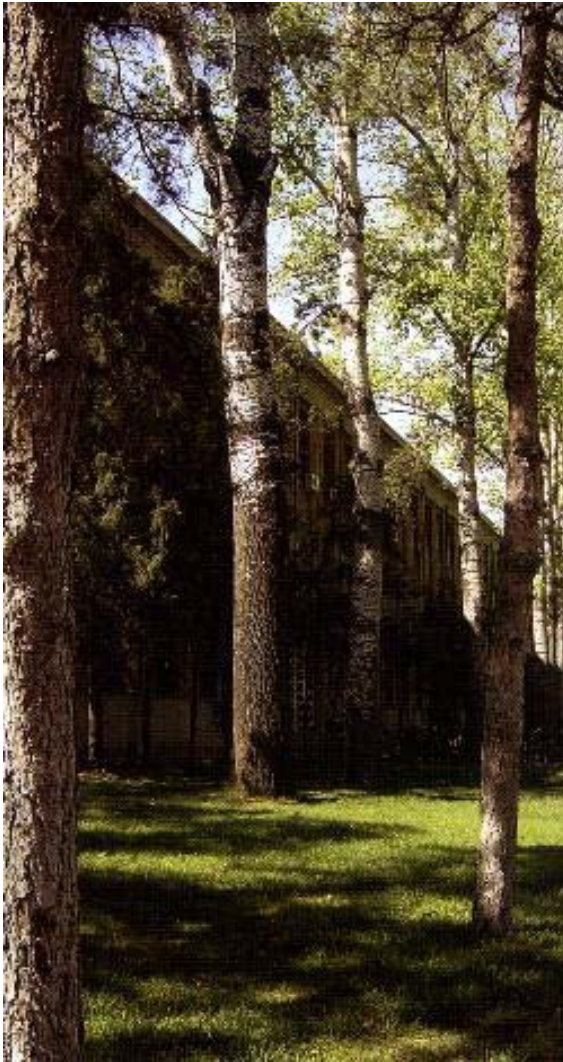
●电弧空间的温度，还受金属蒸气成分的影响。焊条药皮中含有易电离的K、Na等稳弧剂，电弧中有K、Na蒸气，电弧电离度增加，弧柱场强较低，其温度亦降低。

●当电弧周围有高速气体流动时，如等离子弧，由于气流的冷却作用，使弧柱电场强度提高，温度上升。电弧周围气氛是多原子气体时，如 CO_2 、 O_2 、 N_2 、 H_2 、 H_2O 等，由于气体解离吸热，也会使电弧温度升高。



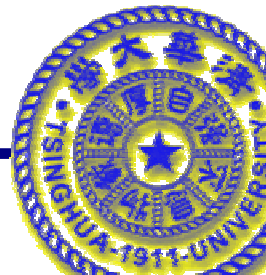
钨和铜电极之间的电弧纵断面等温线





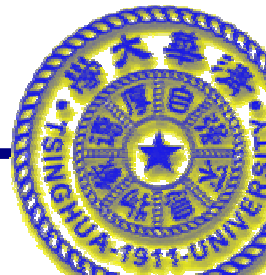
问题

- 焊接电弧力及其作用？



焊接电弧作用力

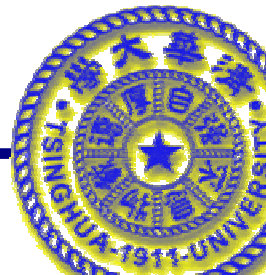
- 在焊接过程中，电弧不仅是个热源，而且也是一个力源。
- 电弧产生的机械作用力与焊缝熔深、熔池搅拌、熔滴过渡、焊缝成形等都有直接关系。如果对电弧力控制不当，则会破坏焊接过程，使焊丝金属不能过渡到熔池而形成飞溅，甚至形成焊瘤、咬肉、烧穿等缺陷。



焊接电弧作用力

●当电流在一个导体中流过时，整个电流可看成是由许多平行的电流线组成，这些电流线间将产生相互吸引力，断面有收缩的倾向。如果导体是固态，此收缩力不能改变导体外形。如果导体是可以自由变形的液态或气态，导体将产生收缩。这种现象称为电磁收缩效应，由此而产生——电磁收缩力。

●实际焊接电弧是断面直径变化的近似圆锥状的气态导体。因为焊条直径限制了导电区的扩展，而在工件上电弧可以扩展得比较宽，所以接近焊条端电弧断面直径小，而接近工件端电弧断面直径较大。直径不同引起压力差，从而产生由焊条指向工件的推力，被称为电弧的电磁静压力。



焊接电弧作用力

●焊接电弧呈锥形，使电磁收缩力在电弧各处分布是不均匀的，具有一定的压力梯度，靠近焊丝处的压力大，靠近工件处的压力小，形成沿轴线的推力。电弧中的压力差将使靠近焊条处的高温气体向工件方向流动，高温气体流动时要求从焊丝上方补充新的气体，形成有一定速度的连续气流进入电弧区。新加入的气体被加热和部分电离后，受推力作用继续冲向工件，对熔池形成附加的压力。在电弧中，由于电弧推力引起高温气体的运动所形成——等离子流力。

●熔池受到的这部分附加压力是由物质的高速运动（等离子体流动）引起的，所以称为电弧的电磁动压力。



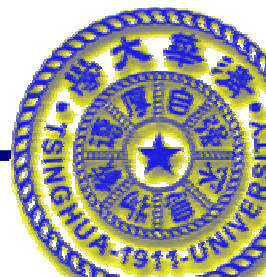
焊接电弧作用力

●斑点压力——当电极上形成斑点时，将受到压力作用，包括：

(1) 阳极承受电子的撞击，阴极承受正离子的撞击。因为正离子的质量远大于电子的质量，同时阴极压降一般又大于阳极压降，所以阴极斑点压力通常较大，阳极斑点压力较小。

(2) 当电极上形成熔滴并出现斑点时，熔滴和电弧空间的电流线都在斑点处集中，电磁力的合力方向是由小断面指向大断面，所以斑点处将受到向上的电磁收缩力，阻碍熔滴下落。通常阴极斑点比阳极斑点的收缩程度大，受力亦较大。

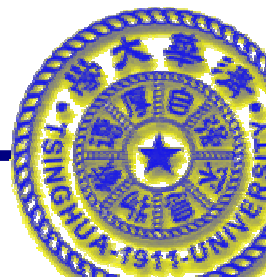
(3) 由于斑点上电流密度及局部温度很高，从而产生强烈的蒸发，使金属蒸气以一定速度由斑点发射出来，它将施加给斑点一定的反作用力。由于阴极斑点的电流密度比阳极斑点的高，发射要更强烈，因此受力更大。



焊接电弧作用力

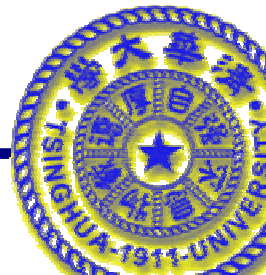
●焊接过程中出现熔滴短路，电弧瞬时熄灭。当短路电流很大时，短路金属液柱中电流密度很高，在金属液柱内产生很大的电磁收缩力，使缩颈变细。电阻热使金属液柱小桥温度急剧升高，使液柱汽化爆断，此爆破力可能使液体金属形成飞溅。

●液柱爆断后电弧重新点燃，电弧空间的气体突然受高温加热而膨胀，局部压力骤然升高，对熔池和焊丝端头的液态金属会形成较大的冲击力，严重时也会造成飞溅。



焊接电弧作用力

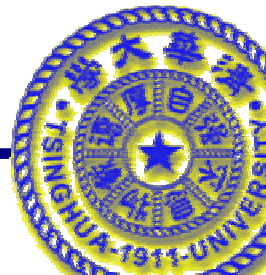
●用富氩气体保护以射流过渡焊接时，熔化金属形成连续细滴沿焊丝轴向射至熔池。这些熔滴在等离子流力作用下，以很高的加速度（可达重力加速度的50倍以上）冲向熔池，到达熔池时其速度可达每秒几百米。尽管每个熔滴重量仅几十毫克，但这些细滴具有很大的动能，形成细熔滴对熔池的冲击力。



影响电弧力的因素

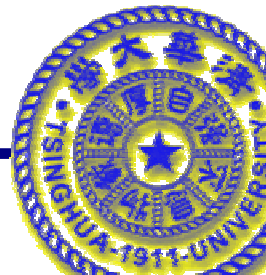
●导热性强或多原子气体皆能引起弧柱收缩，导致电弧力的增加。保护气体流量或电弧空间气体压力增加，也会引起电弧收缩并使电弧压力增加，同时引起斑点收缩进一步加大了斑点压力。这将阻止熔滴过渡，使熔滴颗粒增大而过渡困难。

●焊接电流增大时电磁收缩力和等离子流皆增加，故电弧力也增大。而电弧电压升高亦即电弧长度增加时，使电弧压力降低。



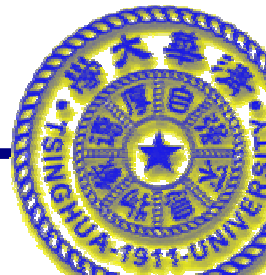
影响电弧力的因素

- 焊丝直径越细，电流密度越大，电磁力越大，造成电弧锥形越明显，则等离子流力越大，使电弧的总压力增大。
- 钨极氩弧焊，当钨极接负时，允许通过的电流大，阴极导电区收缩的程度大，将形成锥度较大电弧，产生的轴向推力较大，电弧压力也大。反之钨极接正，则形成较小的电弧压力。工频交流TIG焊时，电弧压力介于二者之间。



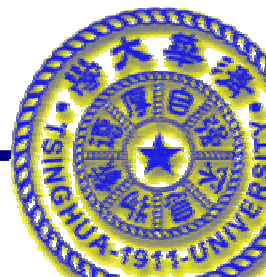
影响电弧力的因素

●对于熔化极气体保护焊，不仅电极导电面积对电弧力有影响，也要考虑熔滴过渡形式。直流正接，焊丝受到较大的斑点压力，使熔滴长大不能顺利过渡，不能形成很强的电磁力与等离子流力，因此电弧压力小。直流反接，焊丝端部熔滴受到的斑点压力小，形成细小熔滴，有较大的电磁力与等离子流力，电弧压力较大。



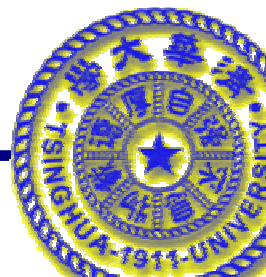
影响电弧力的因素

●钨极端头角度越小（尖），使电极上的导电区缩小，加大了电磁收缩力，则电弧力越大。另外，焊条端头有尖角可减少补充气流的阻力，有利于提高等离子流的流速，从而提高电弧的电磁动压力。



影响电弧力的因素

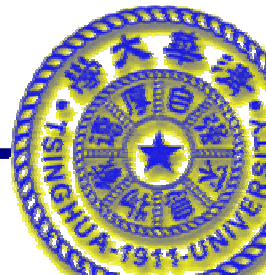
●当电流以某一规律变化时，电弧压力也变化。高频脉冲钨极氩弧焊接时，脉冲电流的频率达到几千赫兹以上。在同样平均电流条件下，由于高频电磁效应，电弧压力随电流脉冲频率的增加而增大。





问题

- 电弧焊接过程中，焊丝如何被加热？

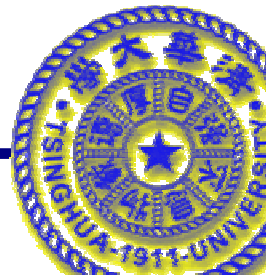


焊丝的加热和熔化

●熔化极电弧焊时，焊丝（条）熔化作为填充金属形成焊缝。焊丝的熔化主要靠（正接时的）阴极区或（反接时的）阳极区所产生的热量，弧柱区产生的热量对于焊丝熔化居次要地位。据上文所述，阴极区和阳极区产热量分别为：

$$P_K = I (U_K - U_\omega - U_T)$$

$$P_A = I (U_A + U_\omega + U_T)$$

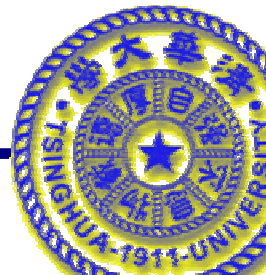


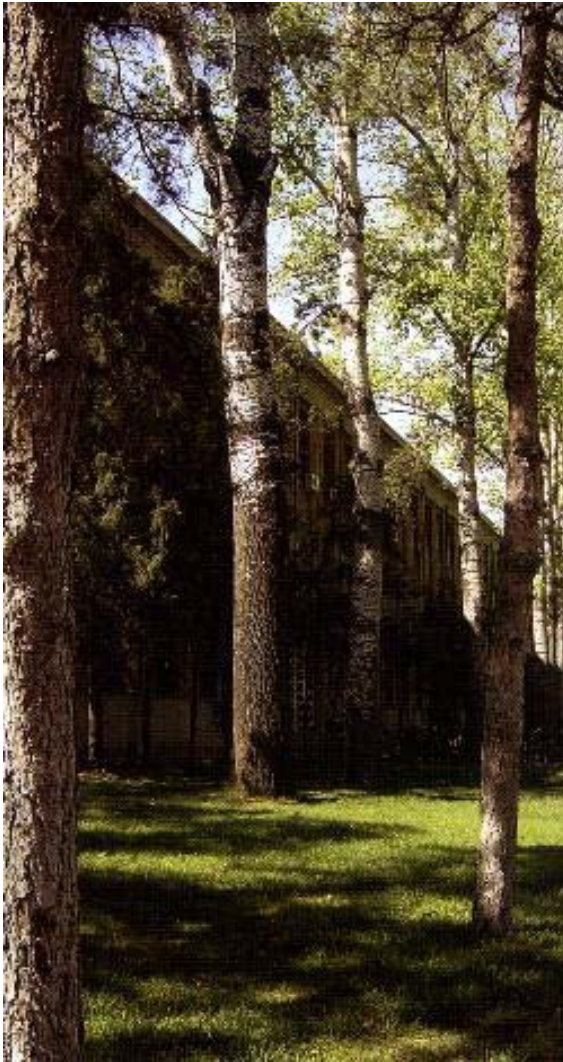
焊丝的加热和熔化

●焊丝除了受电弧的加热外，在自动和半自动焊时，从导电嘴到电弧端头的一段焊丝有焊接电流流过，所产生电阻热对焊丝也有预热作用，从而影响焊丝的熔化速度。特别是焊丝较细和焊丝金属电阻系数较大时（如不锈钢），这种影响更为明显。焊丝伸出长度的电阻热为：

$$P_R = I^2 R_s = I^2 \rho L_s / S$$

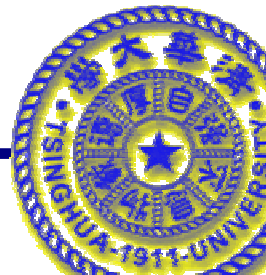
●用于加热和熔化焊丝的总热量，是由电弧热和电阻热提供的能量之和。





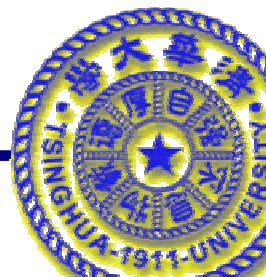
问题

- 影响焊丝熔化的因素？



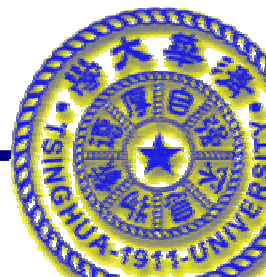
影响焊丝熔化速度的因素

- 随着焊接电流的增大，电弧热和焊丝电阻热都增加，焊丝的熔化速度加快。
- 电弧电压较高时，弧压对焊丝熔化速度影响不大。在电弧电压较低范围内，弧压变小，反而使焊丝熔化速度增加。特别对铝合金MIG焊接，这种影响更加明显。
- 对不锈钢这类电阻率较大的金属焊丝，随着焊接电流或焊丝伸出长度的增大，干伸长电阻热导致预热温度的升高，从而使焊丝的熔化速度增大。
- 不同气体介质直接影响阴极压降的大小和焊接电弧产热多少，因此影响焊丝的熔化速度。



熔化极电弧焊的熔滴过渡

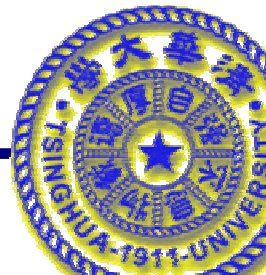
- 在电弧热作用下，焊丝端头的熔化金属形成熔滴，并在受到各种力作用的情况下向母材过渡。
- 熔滴过渡将影响焊接过程稳定性、焊缝成形、飞溅大小等。





问题

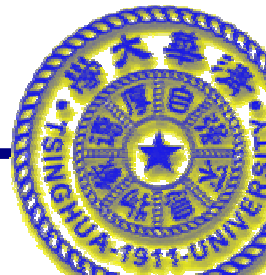
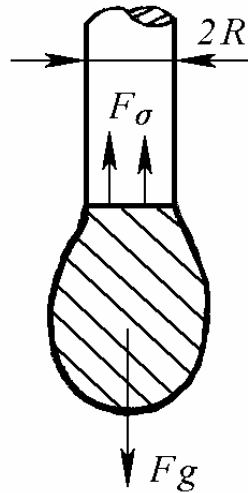
- 熔化极电弧焊接过程中，熔滴上的作用力有哪些？



熔滴上的作用力

- 表面张力是在焊丝端头上保持熔滴的主要作用力。

$$F_{\sigma} = 2\pi R\sigma$$



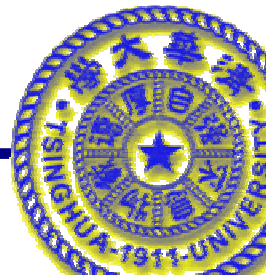
熔滴上的作用力

●当焊丝直径较大而焊接电流较小时，在平焊位置的情况下，使熔滴脱离焊丝的力主要是重力：

$$F_g = mg = 4/3 \cdot \pi r^3 \rho g$$

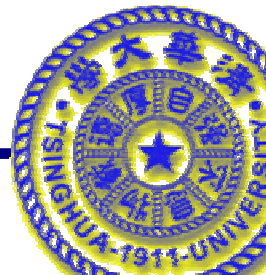
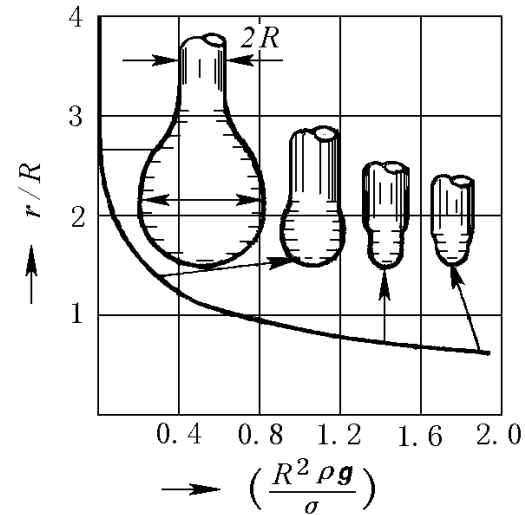
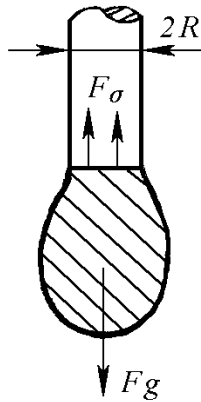
●如果熔滴的重力大于表面张力时，熔滴就要脱离焊丝。假如熔滴为球形且拉断熔滴后在焊丝上不保留液体金属（理想情况），那么

$$F_\sigma = F_g$$
$$r / R = [(3\sigma / 2) / (\rho g R^2)]^{1/3}$$



熔滴上的作用力

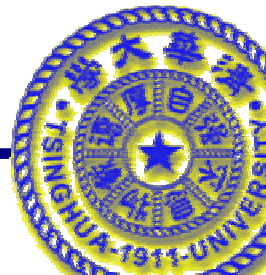
- ρ / σ 值越大，则过渡的熔滴越细



熔滴上的作用力

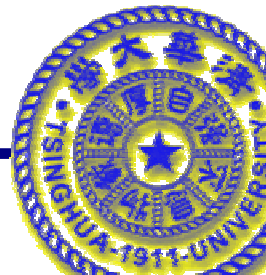
●熔化极电弧焊，电流通过焊丝——熔滴——电极斑点，导体的截面是变化的，电磁力的方向也在变化。同时，斑点处电流密度很高，将使金属强烈的蒸发，也会对熔滴金属表面产生很大的反作用力。

●电磁力对熔滴过渡的影响决定于电弧形态。若弧根面积笼罩整个熔滴，此处的电磁力促进熔滴过渡。若弧根面积小于熔滴直径，此处的电磁力和斑点压力的一部分会阻碍熔滴过渡。



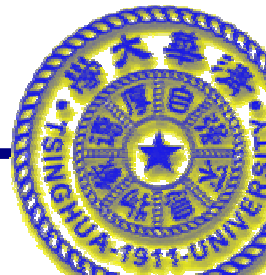
熔滴上的作用力

- 电流较大时，高速等离子流对熔滴产生很大的推力，使之沿焊丝轴线方向运动。这种推力的大小与焊丝直径和电流大小有密切的关系。
- 当熔滴内部含有易挥发金属或由于冶金反应而生成气体时，都会使熔滴内部在电弧高温作用下气体积聚和膨胀而造成较大的内力，从而使熔滴爆破。



熔滴上的作用力

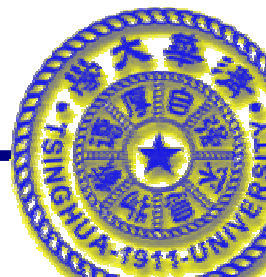
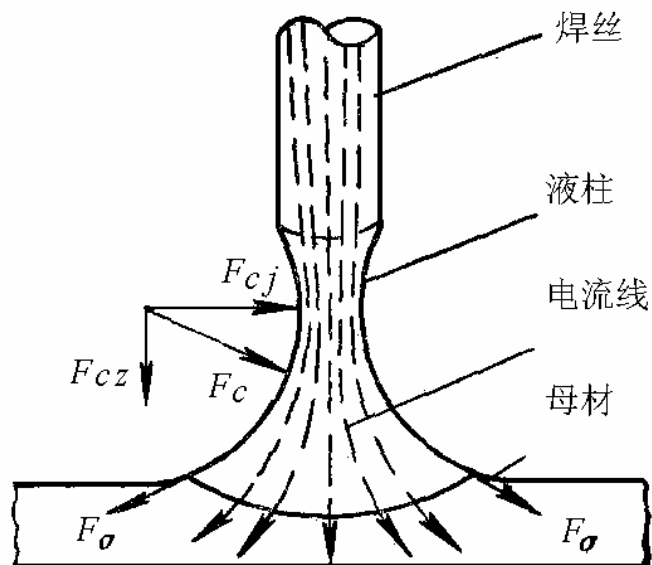
- 熔化极电弧焊时，作用于熔滴的力对熔滴过渡的影响，应从焊缝的空间位置、熔滴过渡形式、电弧形态、工艺条件及规范参数等方面进行具体的分析。
- 重力在平焊时是促进熔滴过渡的力，而当立焊和仰焊时，重力则使过渡的金属偏离电弧的轴线方向而阻碍熔滴过渡。



熔滴上的作用力

●在长弧时，表面张力总是阻碍熔滴从焊丝端部脱离。但当熔滴与熔池金属短路并形成液体金属过桥时，由于熔池界面很大，这时表面张力 F_{σ} 凡有助于把液体金属拉进熔池，而促进熔滴过渡。

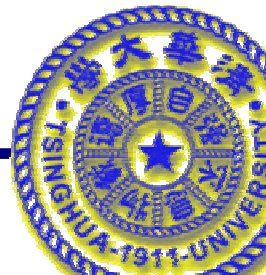
●电磁力 F_c 也有同样的情况，当熔滴短路使电流线呈发散形，也会促进液态小桥金属向熔池过渡。





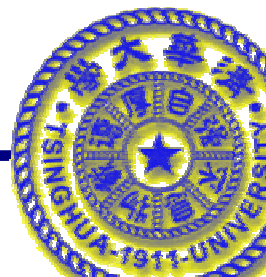
问题

- 熔化极电弧焊接熔滴过渡形式有那些？



熔化极电弧焊熔滴过渡的类型

- ①自由过渡，熔滴经电弧空间飞行至熔池，焊丝端头和熔池之间不发生直接接触；
- ②接触过渡，焊丝端部的熔滴与熔池表面通过接触而过渡；
- ③渣壁过渡，熔滴沿熔渣的空腔壁流下。



熔滴过渡的具体形式

滴状过渡：

大滴滴落过渡——

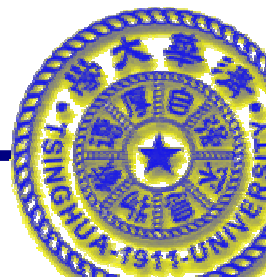
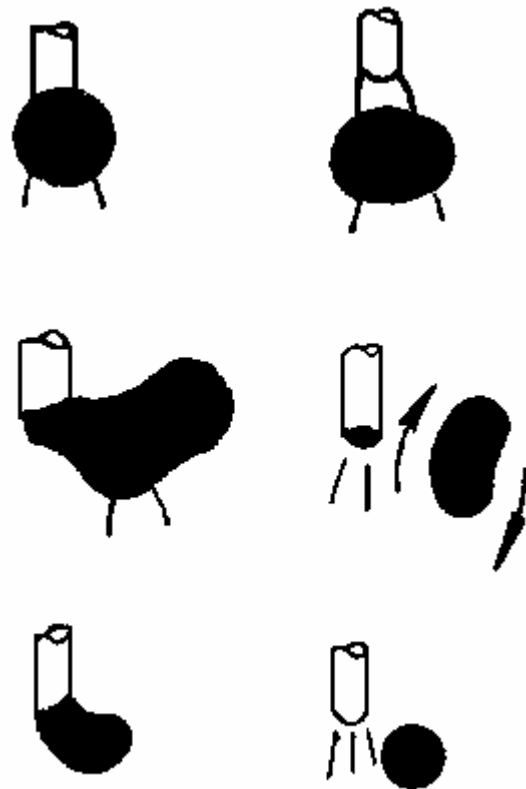
例如高弧压小电流MIG焊

大滴排斥过渡——

例如直流正接气体保护焊

细小颗粒过渡——

例如较小电流MIG焊

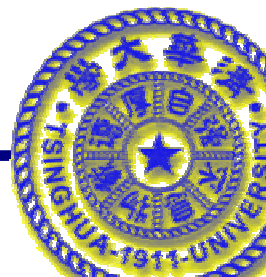
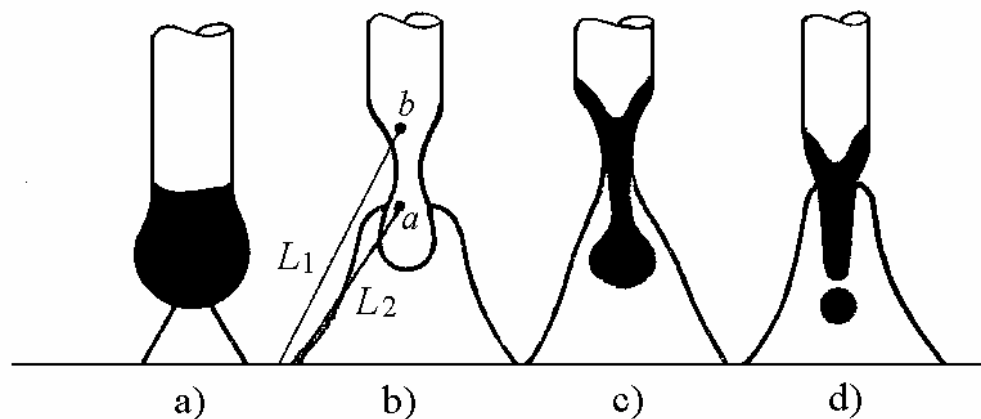


熔滴过渡的主要形式

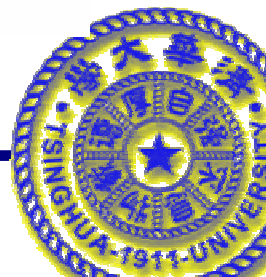
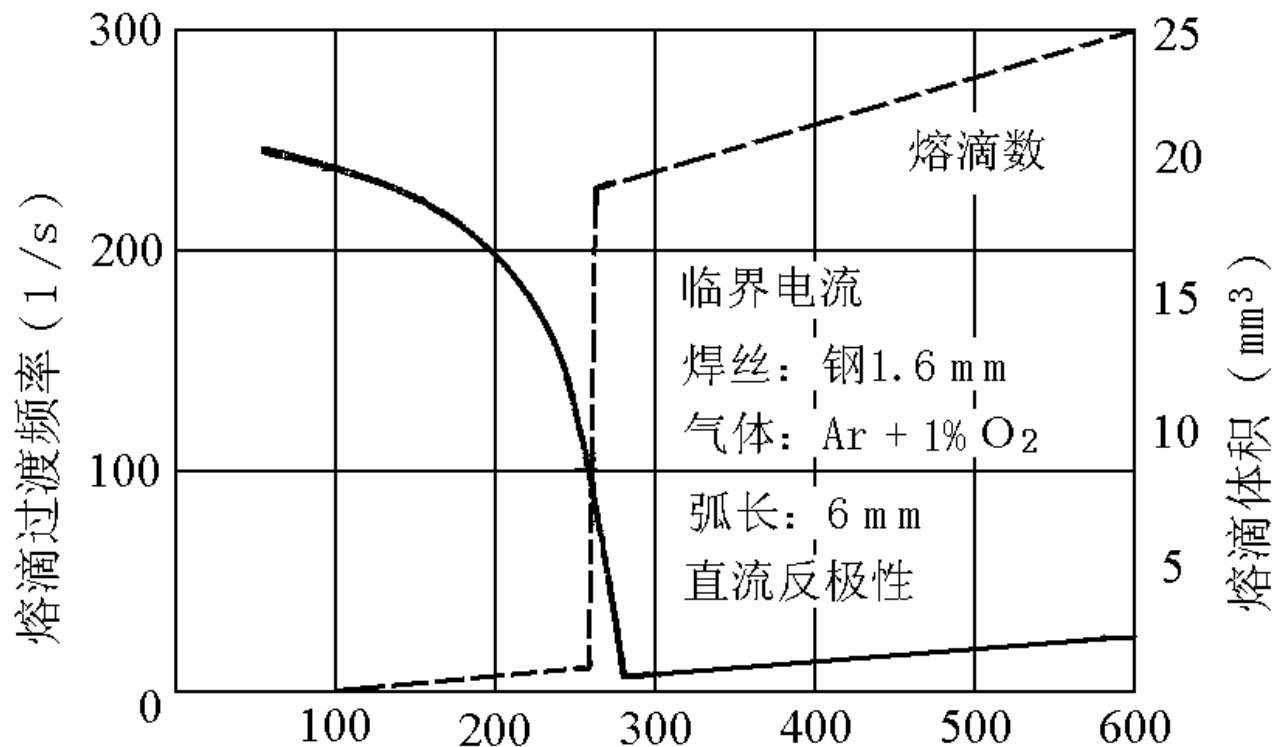
喷射过渡：

射流过渡——钢的大电流MIG焊

亚射流过渡——铝合金的MIG焊



钢的MIG焊熔滴过渡与焊接电流的关系

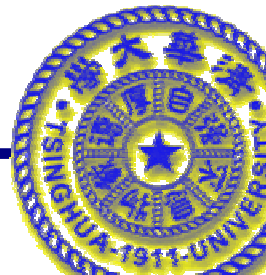


熔滴过渡的主要形式

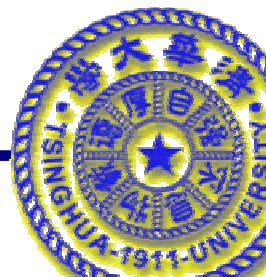
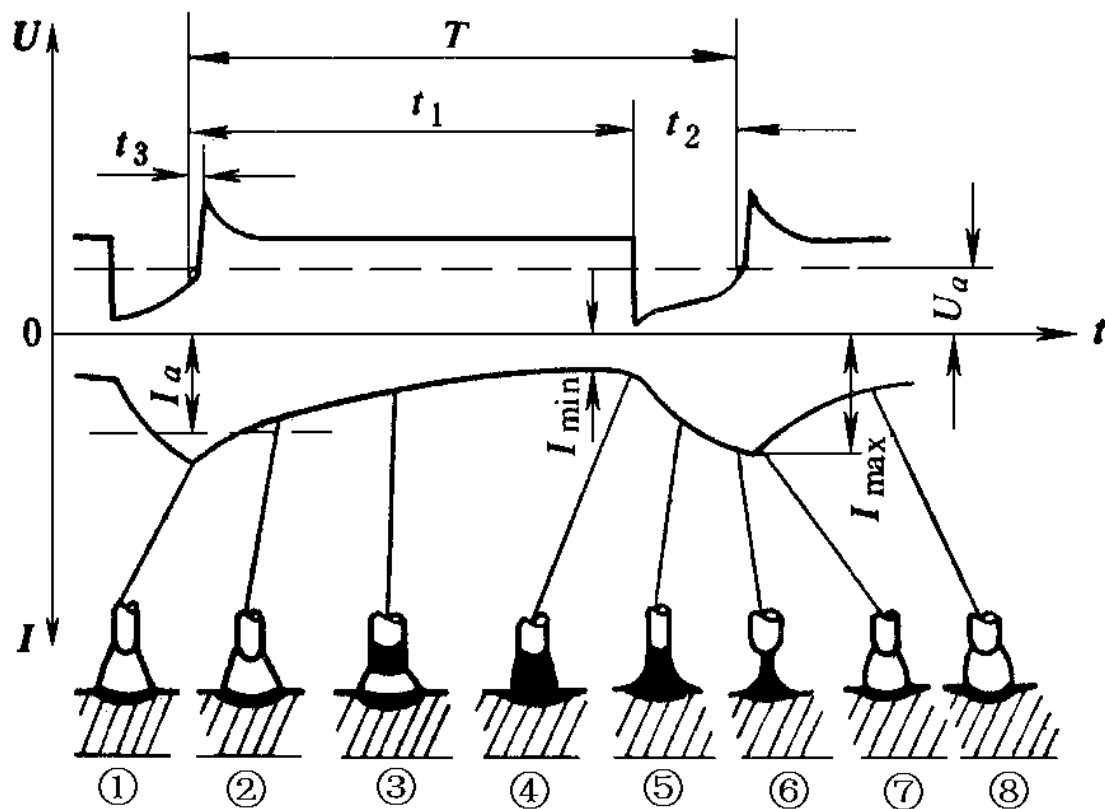
- 在较小电流低电压时，熔滴尚未长成大滴就与熔池短路并向母材过渡——短路过渡

- 电弧稳定，飞溅较小、熔滴过渡频率高，焊缝成形较好，广泛应用于薄板和全位置的CO₂弧焊过程。

- 短路过渡过程的电弧燃烧是不连续的，焊丝受到电弧的加热作用后形成熔滴并长大，而后与熔池短路熄弧，在表面张力及电磁收缩力的作用下形成缩颈小桥并破断，再引燃电弧，完成短路过渡过程。

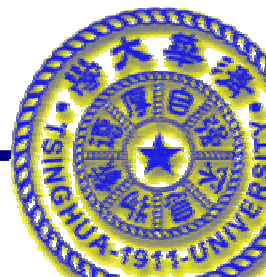


熔滴短路过渡过程



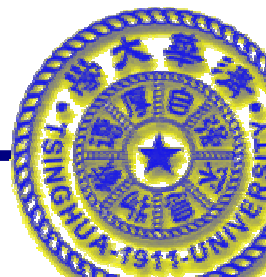
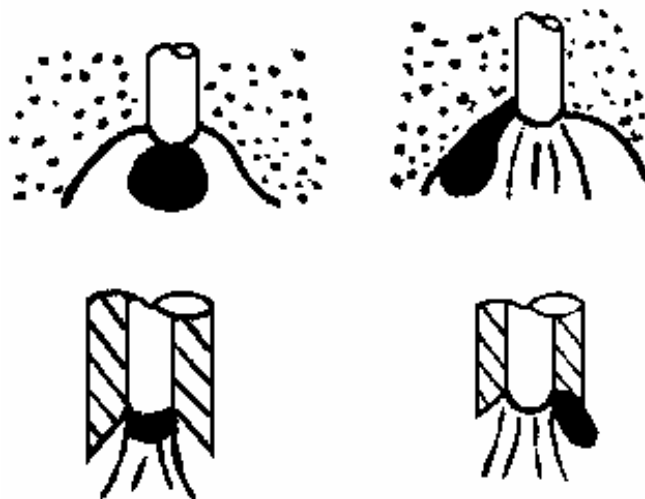
熔滴过渡的主要形式

- 为保持短路过渡焊接过程稳定进行，要求：
保证合适的短路电流上升速度，保证短路“小桥”柔顺的断开，达到减少飞溅的目的；有合适的短路电流峰值 I_m （一般为燃弧电流 I_a 的2-3倍）， I_m 值过大会引起缩颈小桥激烈的爆断造成飞溅，过小则对再引弧不利，甚至影响焊接过程的稳定性；短路结束，空载电压恢复速度要快，以便及时引燃电弧，避免熄弧现象。



熔滴过渡的主要形式

渣壁过渡——发生在涂料焊条手弧焊和埋弧焊时的熔滴过渡形式。



熔滴过渡的损失

●弧焊过程中，熔化的焊丝由于受到电弧高温、气体介质、熔滴过渡、冶金反应等影响，会产生氧化、蒸发和飞溅损耗，这直接影响焊接效率和质量。

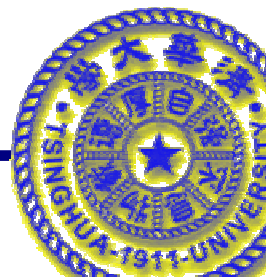
●弧焊过程中，焊丝金属并没有全部过渡到焊缝中去，其中部分要以飞溅、蒸发、氧化等形式损失掉。过渡到焊缝中的金属重量与使用的焊丝（条）之比为熔敷效率。

●一般情况下熔化极氩弧焊及埋弧自动焊熔敷效率可达90%，CO₂气体保护焊和手工电弧焊有时熔敷效率只能达到80%左右。

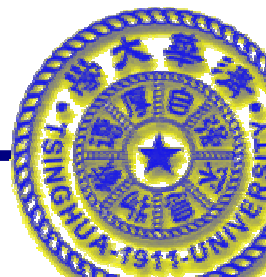
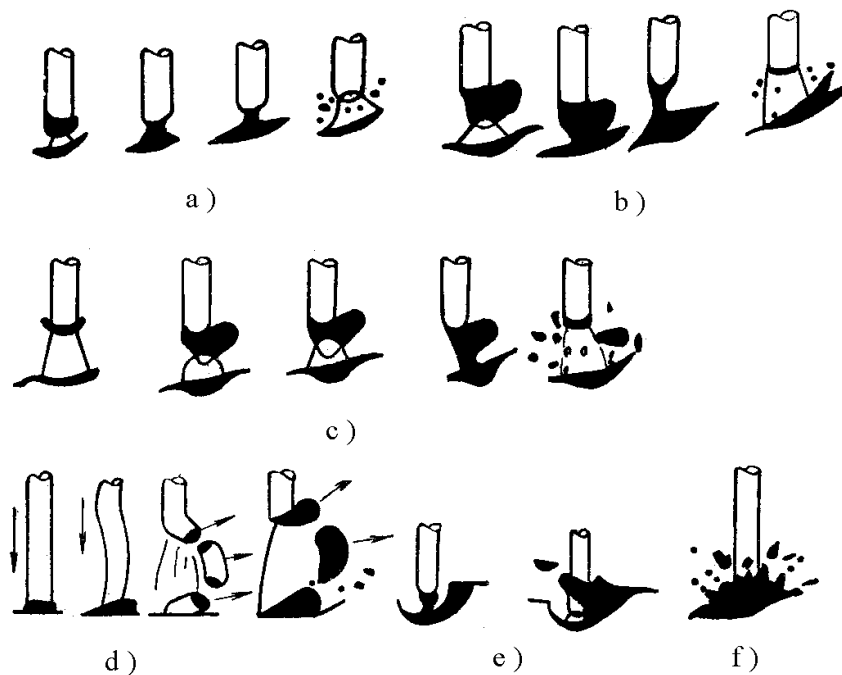


熔滴过渡的飞溅

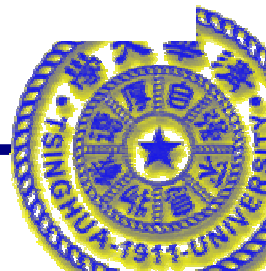
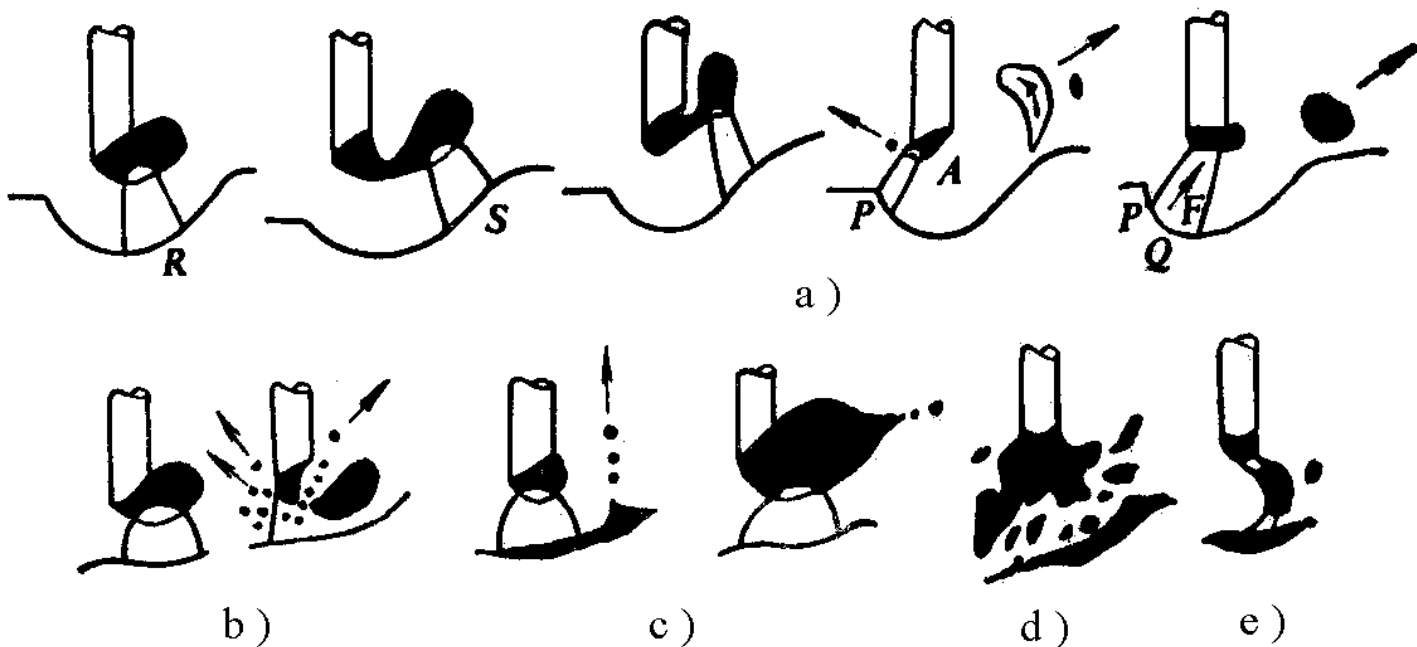
- 焊接过程中，大部分焊丝熔化金属可以过渡到熔池，有一部分焊丝熔化金属飞向熔池之外，飞到熔池之外的金属称为飞溅。
- 飞溅是有害的，它不但降低焊接生产率，影响焊接质量，而且使劳动条件变差。



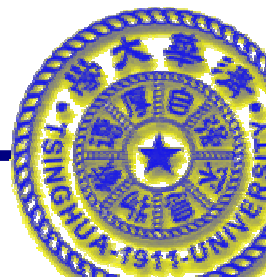
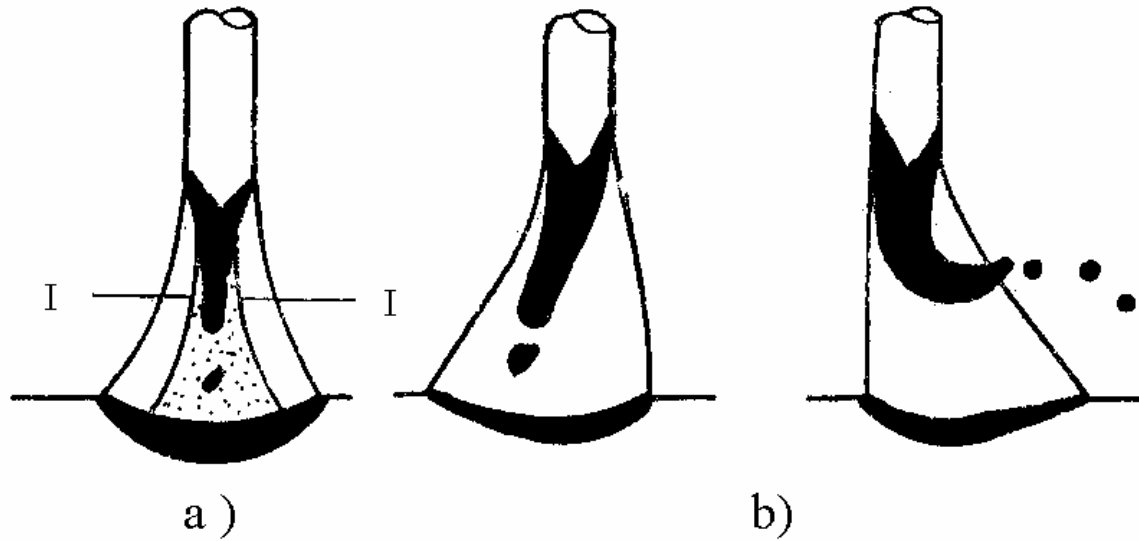
短路过渡的飞溅



颗粒过渡的飞溅



射流过渡的飞溅





谢谢!

