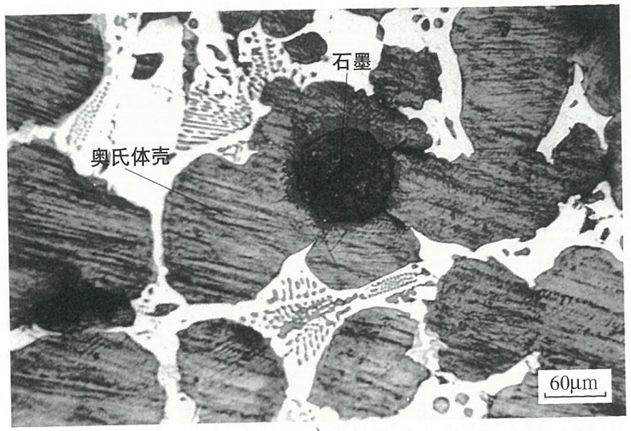
界面状况的接近一致性，故铁原子迁移速度近似相同。碳向球体表面的均衡扩散，保持了石墨原先的球状生长。大多数情况下，这类晕圈是在快速冷却条件下形成的。

（2）慢封闭型：由于铸件冷却缓慢、核心缺乏、沟槽内的铁液受污染等原因延缓了球墨外围奥氏体壳的封闭时间，引起局部缺口的形成，导致出现慢封闭型外壳。

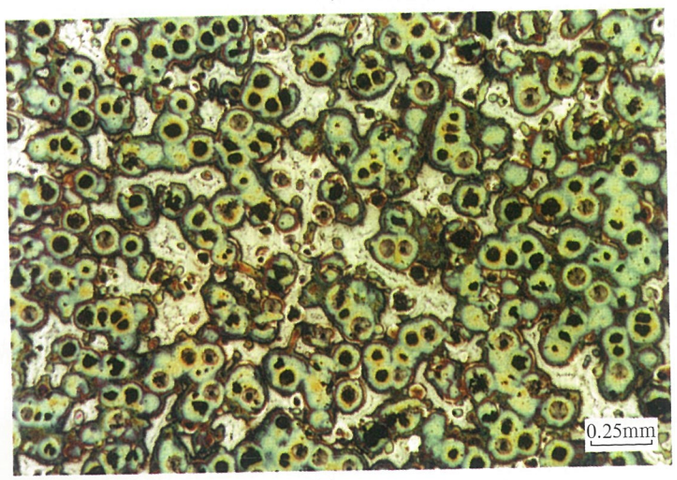
（3）不封闭型：当石墨球外围某位置的奥氏体迟迟不成核，这些地方始终与最后凝固区相通，一直延续到最后，这种情况称为不封闭型。慢封闭与不封闭很难严格定义，也不便给以确切的划分。

奥氏体外壳的类型与球状石墨的畸变有紧密的关系，见表3-13。快速封闭的奥氏体壳可保持原先已存在的小而圆的石墨球；慢封闭的奥氏体壳使一部分石墨球在一段时间内保持与熔液接触，碳原子容易向球墨扩散，导致球墨的不均匀生长；对于不封闭的奥氏体外壳，球墨在沟槽方向始终与液体接触直至凝固终了。碳向石墨球的不均匀扩散以及奥氏体在空间上的不均匀限制，导致共晶期间石墨的畸变。

三种类型奥氏体外壳对球墨形状的影响见图 3-39 ~ 图 3-41。在球化率不高的凝固组织中，同时存在三种外壳，见图3-42。清楚看到，凡是石墨球圆整的晕圈均呈快封闭型，奥氏



a）



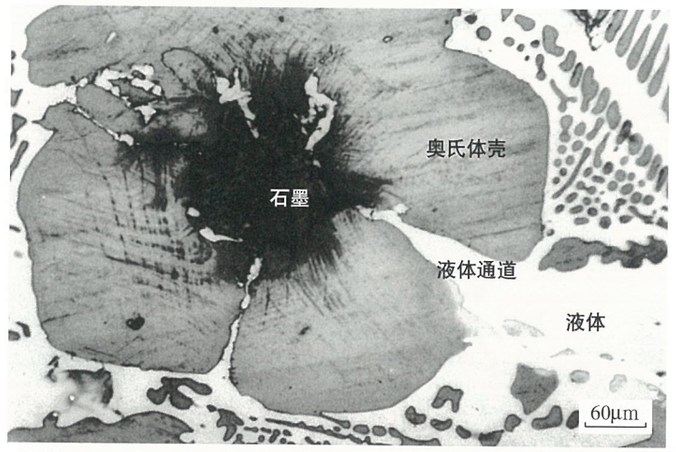
b）

图 3-39　快封闭奥氏体外壳促使获得圆整石墨球

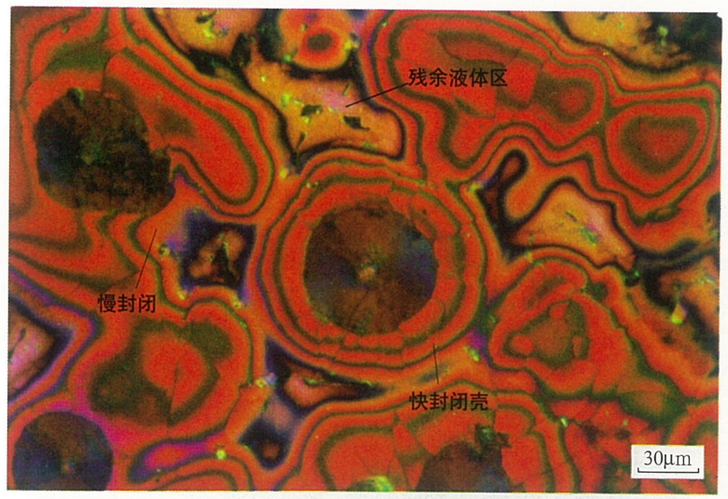
a）Ni-P 定迹法　b）热碱液蚀显

表 3-13　奥氏体外壳类型与石墨畸变的关系[94]

奥氏体壳	石墨形成过程	石墨形状
1 快速封闭		
2 慢速封闭		
3 不封闭		



a）



b）

图 3-40　慢封闭奥氏体外壳对石墨畸变的影响

a）Ni-P 定迹法　b）热碱液蚀显