

〈技術解説〉

액체전극반응과 부식(II)

趙 鍾 瑒*

1. 전극 반응

전극반응機構를 분류하는 문제에 관해 Vetter⁽¹⁾ (1953, 1955)와 Geriether⁽²⁾ (1954)는 전혀 다른 방법으로 다루었다. 그들은 가스를 포함하지 않은 전형적인 산화 환원반응에 대해 고려했으며 전기화학적반응자수를 결정하는데 관여하였다. 또한 그들은 전류(즉, 전극반응의 속도)를 전위(potential)와 stirring속도 그리고 용액에 존재하는 여러물질의 농도함수로서 고려했다. 전위가 증가함으로써 주어질 stirring rate에서는 항상 limiting current가 있으며 이 limiting current는 일반적으로 stirring 속도에 따라 증가한다. 이러한 경우에 있어서, limiting rate는 diffusion-controlled이며 그물질의 농도함수가 존재할때 limiting current의 크기는 보통 전극으로 그물질의 확산에 의해 어떠한 성분이 속도를 제한하고 있는가를 표시한다. limiting current가 stirring rate에 무관하다면, 이것은 a slow precursor 반응의 존재를 나타내며 그 반응생성물중 하나는 전기화학반응일 것이다. 만약 limiting rate가 stirring에 의해서 감소한다면 전기화학반응생성물중 하나는 a slow precursor 반응일 것이다. 실험적으로, 아직도 상당히 어려운 점들이 있다. 현재 용액을 충분히 精製하는 것과 빠르고 정확한 전기적측정이 가능하다. 특히 Gerischer와 Staubsack⁽³⁾ (1957)의 potentiostat의 사용은 도움을 준다. 그러나, 전극들의 교체표면에는 아직까지 反論이 없는 의문점이 있다. 제한성이 요구될 때는 많은 문제점이 남아있으며, electron membrane 또는 산화-환원계의 한부분으로써 작용하는 반응에 있어서 표현효과에 관해서 정량적으로 표시할 수 없다. 비록 300°K에서, Hg, Pt, Ag, Ni과 같은 금속들이 수용액에서 수소방출의 동력학(kinetics)에 관해서는 확실히 알고 있지만, 이러한 지식은 산 또는 알칼리 용액들에서 몇몇 금속들에만 국한된 것이다.

결과 다른 흥미로운 금속 또는 다른 媒質과 상당히

높은 온도의系에서는 아직까지 좋은 실험적 지식에 이용되고 있지 않다. 오래전부터 내내 주목되어온 그리고 지금은 더욱 더 흥미롭고 주요한 문제는 전극반응의 동력학에서 참여하지 않은 이온들의 흡착 효과에 관한 것이다. 예를 들면 요드화물 이온의 존재하에서 수소이온의 환원과 같이, $S_2O_8^{2-}$ 의 전자환원(electro-reduction)은 환원할 수 없는 양이온들의 존재에 대해서 아주 민감하다. (Frumkin,⁽⁴⁾ 1959) 금속 附着의 동력학은 오랜역사와 기술적으로 대단히 중요함에도 불구하고 잘 이해되고 있지 않다. 여기에는 핵생성에 필요한 새로운 相(phase)의 형성과 계속적인 표면변화의 복잡한 문제를 내포하고 있으며, 이러한 요소들은 소동력학적조건에서는 확실히 중요한 것이다. d.c 방법 사용에 제한을 주는 높은 exchange current 때문에 무가적인 곤란성이 생기는데, 이것은 비교적 적은 활성화 과전압을 모호하게하는 큰 ohmic 및 농도과전압을 일으키기 때문이다. 양이온의불용단계, 격자자리의이동, 그리고 전자기동이 어떠한 순서로 어떻게 성립되는가는 여기서 특별한 문제가 된다. 荷電의 이동이 어떻게 진행되는가에 대한 좋은 설명은 complex 이온이론(Lyons⁽⁴⁾, 1954)과 현재 연구방법을 표시하는 금속 침전물에 대한 더보편적인 이론과 실험적취급(Conway and Bockris⁽⁵⁾ 1958; Mehl and Bockris,⁽⁶⁾ 1957; Gerischer,⁽²⁾ 1958; Vermilyea,⁽⁷⁾ 1958)에 근거하게 된다. 전자가 금속격자에서 벗어남이없이 전자의 이동이 생긴다는 견해가 의심스럽게 생각되어 왔다(Randles and Someston⁽⁸⁾ 1952). 전극과 산화-환원쌍 사이에서 이동하는 전자의 수명과 전기적 이중층(electrochemical double layer)에서 방사하는 영역의 역할이 전극반응에 있어서 일반적인 문제가 된다.

아마도, 전기적 이중층(edl)과 분극화된 전극의 흡착에 관한 연구는 전극반응에 있어서 최근의 가장 중요한 진보일 것이다. 어떤전위 범위내에서, 분극화된 전극 금속과 용액계면은 계면사이에서 두相(phase)의 荷電된 원소들의 비대칭적 분포때문에 전기적으로 condenser와 같은 작용을 한다. 원칙적으로 이러한 이중층의 전기용량을 측정하는 것은 가능하며 그러므로

*한양대학교 재료공학과 교수

荷電의 분포와 크기를 조사하는 것도 가능하다. 이것은 전기화학적동력학에서 중요하다. 왜냐하면 이종층의 구조가 전기화학적반응을 지지하거나 억제하는 전위의 차이에 영향을 미치기 때문이다. 더욱, 계면에 있어서 이온농도는 원래 물질농도와는 다르며 따라서 전극반응의 속도도 영향을 받는다. 또한 용량측정은 전극표면에서 전기적으로 중성인 분자들의 흡착과 탈착연구에 대해 편리한 도구를 제공한다.

실험적 방법으로 impedance bridge와 charging curves의 방법(Parsons⁽⁹⁾, 1954R)을 사용할수 있으며, charging curves 방법을 개량한 것은 square-wave signals(Popat and Hackerman⁽¹⁰⁾, 1958)을 사용할수 있다. 특히, 수은전극에서, 전기적 이종층의 구조에 대한 가장 많은 조사가 Trahame (1958R⁽¹¹⁾)과 Frumkin⁽³⁾ (1959)에 의해 수행되었다. 荷電의 net 이동이 없고 specific 흡착을 무시할수 있는 거의 이상적인系에 대해서 수학적 취급을 할수 있다. (Grahame와 Soderberg,⁽¹¹⁾ 1954; Mc Donald⁽¹²⁾ 1957) 현재 bridge 방법과 charging curves 기술(Popat와 Hackerman⁽¹⁰⁾, 1958)을 사용하여 고체금속전극들에 관한 연구가 행하여지고 있다. 고체금속에 대해 faradi impedance로부터 전기용량성의 원소들을 분류하기가 곤란하기 때문에 이러한 연구의 적절한 평가는 아직 가능하지 못하다. (Boclsris and Conway,⁽¹³⁾ 1958)

net charge의 이동하에서 이종층의 상태와 이종층의 형성과 파괴에 대한 동력학적으로 취급하여야 할 두가지 다른 문제점이 있다. 이들 각각은 맨 먼저 이종층의 파괴와 두번째로 작동전극의 저항 성분요소를 측정하기 위해 높은 주파수 입력 signals을 사용하도록 해야 한다. 이러한 문제점에도 불구하고 이종층의 구조를 이해하는데 중요한 진보를 해왔다. 이와같은 것에 대해 예를들면 어떤 음이온들은 화학흡착되고 음이온들이 방전하기전에 탈수되며 한편 다른이온들은 특히 흡착되지 않는다는 사실이 매우 잘 입증되었다(Popat와 Hackerman⁽¹⁰⁾, 1958; Mc Donald,⁽¹²⁾ 1957). 이미 記述한 바와같이, 어떤 양이온들이 음부으로 荷電된 수은표면에 특히 흡착된다는 것과 이들양이온들은 전자환원반응에 영향을 미친다는 것을 보여주고 있다(Frumkin,⁽³⁾ 1959). 전극표면에서 전기적으로 중성인 유기물질분자들의 흡착에 대한 동력학과 전극반응에서의 이들의 영향(특히 수소과점압에서)이 집중적으로 연구되었으나(Dela bay,⁽¹⁴⁾ 1958, 1957R; Breyer,⁽¹⁵⁾ 1956R; Frumkin,⁽³⁾ 1957) 아직까지 일반적 법칙은 없다.

반도체-용액계면의 전기적이종층(edl) 용량의 측정으로 반도체의 비정상적성질의 전류문제를 명확히하는데 이용될수도 있다. Ge에 대한 용량-전위곡선들이

성공적으로 실험되었다(Bohnenkamp와 Engell,⁽¹⁶⁾ 1957). 금속들의 전위보다 훨씬 낮은 전위의 민감도를 발견하였다. 이것은 아마도 반도체내에 이종층의 기어 때문일 것이다. 여기에는 이점과 결점이 생긴다. 표면 상태에 관하여 관찰할수 있는 이점과 용액에서 흡착의 명확한 평가가 아마도 직계될지도 모르는 결점이었다.

전극물질이 산화되는 양극반응에 관하여 많은 실험적 조사가 있다. 그러나 더 잘 이해하기 위해서는 전해야 얻어질수 있다. 순수한 금속과 합금들의 전기화학적 不動態화에 관하여 현재 이용할수 있는 지식이 아주 믿음만하다. 천을 부동태화하는데는 0.01 coulomb/cm² 보다 더적은량을 필요로 한다는 것이 확실시 되었으며 아마도 300 μ c/cm² 만큼 적은양이면 충분히 부동태가 될것이다. 또한 부동태를 유지하는데 이러한 양중 일부분이 다만 필요하게 된다는 것은 명확하다. 그러한 부동태 현상은 약간의 금속이온들을 포함하는 film 때문이며 그 film은 아마도 산소가 많으며, 20Å보다 얇거나 그정도이다. 그러나 이러한 종의 형성방법에 대해서 측정된 성질이 그층의 구조에 관해서 어떤 관계가 있는가에 대해서 매우 다른 견해가 있다. 이러한점에 대한 여러견해가 최근, Symposium에서 잘 요약되었다(Z. Elektrochem,⁽¹⁷⁾ 1958; Stern,⁽¹⁸⁾ 1957; Gerischer,⁽⁹⁾ 1958).

양극처리에 의한 電解研磨法은 순수한 실험적 단계 이상으로 진보하였고, 많은 산화물피막들이 형성될수 있는 금속들의 양극 작용에 대해 광범위하게 연구되었다(Jacquet,⁽¹⁹⁾ 1956; Dewald,⁽²⁰⁾ 1957).

그러한 문제점들은 주로 큰 전위경사에서는 film을 통하여 양극이온의 수송이 있기 때문이다. 예로써, film 필도와 film의 誘電性의 성질을 어떻게 잘 표시할수 있는가하는 부동태에 관한 문제점이 있다. 최근에 고안한(Uhlig⁽²¹⁾ 1955) 양극적 방법에 의한 electromachining 또는 산화물을 정류함으로써 양극적 형성에 대해서는 이러한 문제점이 없다. 이러한 분야에는 물질의 수송과 전류밀도 분포에 관한 많은 부가적 지식이 필요하다. 일반적으로 diffusion-controlled 된 전극반응의 문제점들은 non turbulent flow系에서는 상당히 잘 이해되고 있다. 그러나 turbulent系에서 이용할수 있는 지식은 빈약하다. 유사하게, 낮은 전류와 작은 면적을 가지는 간단한 전해질 전도 paths에서 전류의 분포를 완전하게 취급할수 있다. 그러나 큰 전류와 전류밀도(즉 >10amps와 >10²amps/cm²)하에서 예측되는 작용에 관해서는 별로 취급되지 않았다. 이러한 경우에, 전기화학적 cells의 전류-전위 responses는 electroic components의 기능을 수행하도록 만들어졌다. 이러한 흥미로운 분야의 개발이 위에서 記述한 문제점들 때문

에 더디게 되었다. (Hurd and Lane, ⁽²²⁾ 1957)

전기화학의 몇몇 다른 분야가 새로운 흥미로운 과제로 되었다. 고전적 또는 재생할수 있는 연료 cells에 대해서는 상당한 기술적 연구가 행해졌으나 과학적 연구는 조금 행하여 졌다. (Bucon과 Forrest⁽²³⁾, 1955R; Ridedal⁽²⁴⁾, 1958I Mc Kee와 Adams⁽²⁵⁾, 1944; I/eages⁽²⁶⁾, 1958) 실험적 적용과 새로운 지식의 영향으로 대부분의 cells이 많이 변형되도록 고안되었다. 고체 전해질을 사용하는 cells이 아마도 가장 흥미로운 것이다.

electrowinning 또는 전기도금에 대한 주요한 과학적 진보는 없지만 기술적 진보는 되었다. 비록, 여러 해동안 fused baths 내에서 전기화학적반응에 대해 많은 사용은 해왔지만, 전극반응을 이해하는데 어떠한 진보도 되지 못했다. 전기적 이중층과 수용액중에서 전기화학적 동력학연구에 대해 몇몇 실험실에서 주의 깊은 연구가 진행되고 있지만 (Laitinen과 Graur⁽²⁷⁾, 1957, 1958) 아직까지도 기초적 연구에 대해서 거의 완전히 개발되지 않고 있다.

전기화학적 반응에 대한 비가역적 열역학의 적용에 관해 마찬가지로 말할수 있다. 이러한 종류의 몇몇 진지한 연구가 수행되어 왔으나 (Van Rysselberghe⁽²⁸⁾ 1955R) 그러나 아직도 연구될 것이 많이 있다. 최종적으로 반도체들의 전기화학적 연구 (Bohnenkamp Engell⁽²⁹⁾, 1957, Dewald⁽²⁹⁾, 1959R. Gatós⁽³⁰⁾ 1959R)와 membranes의 전기화학연구 (Sollner⁽³¹⁾, 1950)에 대해 활발한 착수를 해왔으며 그리고 이러한 분야들은 빠르게 진보하는 것 같다.

2. 금속부식

금속부식은 과학연구분야에 아주 작은 부분을 차지하고 있지만 이 연구는 현재 계속 증가하고 있다. 주위와 결정 결합사이의 상호작용에 대한 이론(Petrovich⁽³²⁾, 1959) 즉 현재 고체상태 이론의 사용은 고사하고, 동력학적 전기화학의 정량적 적용이 가장 현저한 진보를 했다.

Stern (1957)은 산화제 또는 "양극보호(anodic protection)"의 형성에 의하여 화학적부동태를 예측하는데 있어서 부동태화 할수 있는 금속들에 대해 양극분극도표 (anodic polarization diagram)을 어떻게 사용하는가를 보여줬으며, 이것은 확실히 전도용액에서 균일부식반응의 동력학을 명확히 이해하도록 했지만 전극반응들이 발생하는 전극부분의 성질을 나타내지는 못했다. 틸부식과 같은 전극반응의 위치를 예측할수 있는 비균일부식효과에 대해서는 또한 잘 이해되고 있다. 그러나

pitting과 응력부식균열 그리고 다른 국부부식현상들 일으키게 하는 요소들을 명확하게 이해하지 못하고 있다. 음극보호(athodic protection)로써 주요한 기술적 달성을 위해 전기화학적 원리가 사용된다. 여기서 우리는 이상한 기하학적 높은 전류값 또는 다른 non-ordinary 상태에서 전류분포를 모르기 때문에 특수한 문제점을 해결할수가 없게 된다. 금속의 양극분극과 전기화학적 부동태화에 관한 연구는 양극보호의 개념을 유도했다. (Edeleanu⁽³³⁾, 1954). 여기에서 이해할 일이 많이 있다. 이것은 특히 "trans-passive" 영역에서는 가속적으로 합금이 녹아날 가능성이 있기 때문이다. 이것은 또한 응력을 받고 있는 금속에서 특히 심하게 될지 모른다. 최근에 Hoar와 West⁽³⁴⁾ (1958); Hines와 Hoar⁽³⁵⁾ (1958); Gerischer⁽²⁾ (1957)에 의하면 높은 전류밀도에서引張應力을 녹아나는 표면에 수직으로 부과할때 austenitic stainle's steel의 양극적용해는 적은 분극(polarization)으로도 발생할수 있다는 사실이 밝혀졌다. 그럼에도 불구하고 양극분극에 의해 Pitting의 제거와 감소의 가능성에 대해 상당한 노력은 할가치가 있다.

기계적응력과 금속의 화학적 반응 (Robertson⁽³⁶⁾, 1956; Rhodin⁽³⁷⁾, 1959R)의 결합 효과가 현재로써 또는 때때로 가장 중요한 분야이다. 응력부식의 경우만을 고려할때도 두가지의 중요한 학설이 있다. 한 학설은 두번째로 중요한 응력이 선택적 부식에 있어서 주요한 요소라고 믿고 있다. 선택적 부식의 성질에 대한 어떤 일치된 전제가 없지만 가까운 장래에 이룩될 것 같다. 두번째 학설은 특히 선택적 부식이 아니라 화학적 부식으로 인해 파괴될때 延性금속내에 국부적인 취성부분이 있다는 것이다. 어떤 합금에서만 단지 이러한 현상이 발생하는가? 또 주어진 합금이 어떤 용액에서만 이러한 파괴를 당하고 같은 온도와 같은 조성을 갖지만 다른 용액에서는 왜 파괴가 일어나지 않는가? 하는 문제는 아직도 해결되고 있지 않다. 진보된 변형이론(deformation theory) (Robertson⁽³⁸⁾, in press)과 응력하에서 금속의 거의 분극되지 않은 양극적 용해로써 일찌기 발견된 이론을 거쳐 진보되고 있는 것이 현재로써 가장 흥미로운 전망이다.

반응하고 있는 금속의 전위(potential)에 대한 응력의 영향은 열역학적 성질의 변화에 종종기인된다. 그러나 금속에 있어서 반응하고 있는 혼합된 전위의 변화에 의해서 이러한 효과가 발생한다는 것은 아주 명확하다. 이러한 변화는 10--100 millivolts 정도이며 반면 Rhodin⁽³⁷⁾ (1959R)에 의해 계산된 열역학적 변화가 $\sim 10^{-5}$ mV 이다 라는 사실로 입증된다. 한 Wien에 순간적응력을 부과하여 얻은 potential transient의 실

험(Funk et al⁽³⁹⁾, 1957)으로써 mixed potential이 변한다는 것을 또한 입증하여 준다.

현재 심한부식상태하에서 어떤 금속 부식에 대해 여러 종류의 방사선 효과에 관한 실험적 지식이 많이 있다.

방사선이 부식분위기에서 반응속도에 영향을 주는 화학적변화를 가끔 일으킨다는 사실은 분명하다. 금속 표면에 형성된 barrier 층에 다른 효과들이 있다. 금속 층에 분열 할 수 없는 동위원소들이 섞이는 것으로 추측할 수 있을때 (Jenks⁽⁴⁰⁾, 1956) fission power density가 부식율에 관계하는 실험식이 도움을 줄 수 있다. 비록 방사선이 과전압의 감소를 일으키게 하는 것 같지만, 금속반응에는 어떠한 효과도 없는 것 같다.

어떤 금속의 열결정에 관한 동력학적연구(Kruger⁽⁴¹⁾, 1958); 고체반응생성물들의 주의깊은 형태학상의 연구(Feitknecht⁽⁴²⁾, 1958); 유기화합물에 의한 부식억제와 분자구조사이의 관계(Kaesche와 Hackerman⁽⁴³⁾, 1958); 와 화학적방법에 의한 부동태화(stern⁽⁴⁴⁾, 1957; Cartledge⁽⁴⁵⁾, 1958)의 연구등이 현재의 관심사가 되고 있다. 이러한 연구들로 인하여 확고한 결말과 새로운 생각들을 하게 했다. 예를들면, Tafel 기울기, exchange 전류, "critical"전위와 전류(Kaesche와 Hackerman⁽⁴³⁾, 1958)의 효과들을 결정함으로써 억제제의 능력을 잘 예측할 수 있게 되었다.

요약하면, 계속적인 연구를 할 만한 많은 문제점들이 있다. 즉 부대 금속들의 용해와 형성을 포함한 화학적 반응과 고체의 정질사이의 진정한 관계; 음력부식균열에 있어서 합금과 분위기의 특수성분제; 부식과 전기 화학반응에 있어서, 높은 온도와 방사선 그리고 가능한 높은 압력 각각 또는 혼합된 조건하에서의 효과에 관한 실험적 지식의 결여; 재현성이 있도록 표면처리 문제; 만약 가능하다면, 모든 전극분극 현상에 관한 좋은 일반적이론; 등이다. 이와같은 이론적 개발을 위해서는 분극에 의존한 시간과 용매효과 그리고 일반적 용각현상에 관한 더 정확한 실험적 지식을 요구한다.

참 고 문 헌

(1) Vetter, K. J., 1952, Z. Naturforsch., 7 a, 328; 1953, 8a, 823.
 —, 1955, Z. Elektrochem., 59, 596.
 (2) Gerischer, H., 1954, Z. Physik. Chem. (N. F.), 2, 79
 —, and Stauback, K. E., 1957, Z. Elektrochem., 61, 789.

—, 1958, Z. Elektrochem., 62, 256.
 —, 1958, Z. agnew. Chem., 70, 285.
 (3) Frumkin, A. N., 1959, Trans, Faraday Soc., 55, 156
 —1957, NoVa Acta Leopoldina, 19, 132.
 (4) Lyons, E. H., 1954, J. Electrochem. Soc., 101, 363, 410.
 (5) Lonway, B. E., and Bockris, J. O'M., 1958 Proc. Roy. Soc (London), 248A, 394.
 (6) Mehl, W., and Bockris, J. O'M., 1957, J Chem. phys., 27, 818.
 (7) Vermiyea, D. A., 1958, J. Chem. phys., 29 717.
 (8) Randles, J. E. B., and somerton, K. W., 1952 Trans. Faraday Soc., 48, 951.
 (9) Parsons, R., 1954, Modern Aspects of Electrochemistry, chapter 3, Academic Press, Inc., New York.
 (10) Papat, P. V., and Hackerman, N., 1958, J phys. chem., 62, 1198.
 (11) Grahame, D. C., 1958, Ann Revs. phys. chem., 6, 337
 —, and Soderberg, B. A., 1954, J. Chem. phy. 22, 449.
 (12) Mc Donald, J. R., 1957, J. Chem. phys.
 (13) Bockris, J. O'M., and Conway, B. E., 1958, J Chem. phy., 28, 707.
 (14) Delahay, P., 1958, Rec. Chem. Prog., 19, 8;
 —, 1957, Ann. Revs. phys. chem., 8, 229.
 (15) Breyer, B., 1956, Revs. Pure and Applied Chem., 6, 249.
 (16) Bohnenkamp, K., and Engell, H. J., 1957, Z. Elektrochem., 61, 1184.
 (17) Z. Elektrochem, 1958, 62, NOS. 6—7
 (18) Stern, M., 1957, J. Electorchem. Soc., 104 645.
 (19) Jacquet, P. A., 1956, Metall. Rev., 1 157.
 (20) Dewald, J. F., 1957, J. Phys Chem. Solids. 2, 55.
 (21) Uhlir, A., Jr., 1955, Rev. Sci. Instr., 26
 (22) Hurd, R. M., and Lane, R. N., 1957, J. Electrochem. Soc., 104, 727
 (23) Bacon, F. T., and Forrest, J. S., 1955, 5th World power Iont., Paper 119k/4.
 (24) Rideal, E. K., 1958, Z. Elektrochem., 62, 324.
 (25) McKee, J. H., and Adams, A. M., 1949, Fuel

28. 1.
- (26) Yeager, E., Dec. 1958, Tech Rep. 10 to Office of Naval Research (Proc. NR 359—277).
- (27) Laitinen, H. A., and Graur, H. C., 1957, *J. Electrochem. Soc.*, 104, 730; 1958, 105, 444.
- (28) Van Rysseberghe, P., 1955 *Electrochemical Affinity*, Herman et Cie., Paris.
- (29) Dewald, J. F., 1959 *Semiconductors*, Chapter 17, ed. by N. B. Hannay, *Acs Monograph No. 140*, Reinhold publishing Co., New York.
- (30) Gatos, H. C., editor, 1959, *The Surface Chemistry of Metals and Semiconductors*, New York, John Wiley and Sons, Inc
- (31) Sollner, K., 1950. *J. Electrochem. Soc.*, 97, 139C.
- (32) Petrovich, A. L., 1959, *Ind. Eng. Chem.*, 51, 74A.
- (33) Edeleanu, C., 1954, *Metallurgia*, 50, 113.
- (34) Hoar, T. P., and West, J. M., 1958, *Nature*, 181, 835.
- (35) Hines, J. G., and Hoar, T. P., 1958, *J. Appl. Chem (London)*, 8, 764.
- (36) Robertson, W. D., editor, 1956, *Symposium on stress corrosion cracking*, New York, John Wiley and Sons, Inc.
- (37) Rhodin, T. N., editor, 1959, *Physical Metallurgy of stress Corrosion Fracture*, New York, Interscience Publishers.
- (38) Robertson, W. D., and Tetelman, A. S. in *strengthening Mechanisms in Solids*, ASM (in press)
- (39) Funk, A. G., Giddings, J. C., Christensen, C. F., and Eyring, H., 1957, *Proc. Natl. Acad. Soc., U. S.*, 43, 421.
- (40) Jenks, G. H., 1956, ORNL-2222 to U. S. Atomic Energy Commission.
- (41) Kruger, J., 1958, *Ind. Eng. Chem.*, 50 (3), 55A.
- (42) Feitknecht, W., 1958, *Z. Elektrochem.*, 62, 795.
- (43) Kaesche, H., and Hackerman, N., 1958, *J. Elektrochem. Soc.*, 105, 191.
- (44) Cartledge, G. H., 1958, *Z. Elektrochem.*, 67, 684.