

リサイクル鉄鋼材料におけるトランプ元素の影響

大澤絢一（管理工学科）

1. まえがき

一般に鉄鋼材料を製造する場合、電気炉でスクラップを溶解する方法は高炉で鉄鉱石を還元する方法に比べて使用するエネルギー量は1/3程度で済むことから、スクラップのリサイクル促進は省エネルギーすなわちCO₂排出量の削減に有効であり、地球環境保全の観点から重要性が高い。

ところで、スクラップとして回収された鉄鋼材料はほぼ100%リサイクルされているものの、グレードの低い製品にリサイクルされる、いわゆる、カスケード型のリサイクルとなっているのが現状である。例えば、自動車の車体に使用された薄鋼板はスクラップになった後、再び自動車用鋼板にリサイクルされることはなく、形鋼や棒鋼にリサイクルされる。これは、スクラップ中に混入したCuやSnなどの循環性元素すなわちトランプ元素が現在の酸化精錬では除去が不可能であり、このためリサイクルを繰り返すとこれらトランプ元素が鋼中に濃化し、鉄鋼材料の製造段階や製品に悪影響を及ぼすからである。

なお、鋼中にCu、Snなどの含有量が高くなると、鋼材の連続鋳造工程や熱間圧延工程で熱間脆性による割れが発生して製品の表面疵の原因となり易くなり、また、トランプ元素は最終製品の強度、加工性などの材質特性や化成処理性や耐食性などの表面特性に影響を及ぼすと考えられているが、まだ十分にその影響が解明されているとは言えない。

このような背景から、本研究は今後の鉄鋼材料のリサイクルを促進するために必要なトランプ元素に関する知見を得るため、幅広い用途に多量に使用されている薄鋼板を対象に、その製造工程における製造性および製品の品質特性に対するCu、Snなどトランプ元素の影響を系統的に調査することを目的として実施した。なお、この研究結果は鉄鋼材料を用いた構造や製品設計におけるLCA（ライフサイクルアセスメント）評価法の確立に寄与できるものと考えられる。

2. 実験方法

実験室真空溶解炉にて、低C-Alキルド鋼をベースとして、表1に示すような化学成分のCu、Sn含有量の異なる8鋼種を溶製し、それぞれ50kg鋼塊に鋳造した。なお、Cu、Sn含有量は今後スクラップリサイクルが進展した場合に、予想される含有量の範囲に限定した。

表1. 供試材の化学成分

鋼種 番号	化学成分 (wt %)								
	C	Si	Mn	P	S	Sol. Al	N	Cu	Sn
1	0.032	0.01	0.27	0.002	0.002	0.025	0.0038	0.01	<0.002
2	0.030	0.01	0.26	0.002	0.002	0.022	0.0036	0.16	<0.002
3	0.036	0.01	0.29	0.002	0.003	0.029	0.0037	0.30	<0.002
4	0.036	0.01	0.27	<0.002	0.002	0.029	0.0034	0.52	<0.002
5	0.035	0.01	0.27	<0.002	0.002	0.028	0.0038	0.02	0.011
6	0.034	0.01	0.27	0.002	0.002	0.028	0.0035	0.01	0.020
7	0.034	0.01	0.27	0.002	0.004	0.022	0.0024	0.01	0.052
8	0.030	0.01	0.27	0.002	0.003	0.021	0.0028	0.30	0.029

これらの鋼塊を1000℃で1hr加熱後30mmの厚さに分塊圧延し、熱間圧延素材とした。なお、Cu、Sn含有量が多い鋼種では熱間脆性により表面割れが生じ易くなるので、これを防止するため、加熱温度を1000℃とした。続いて、この熱間圧延素材を再び1000℃で1hr加熱後、仕上温度850℃で板厚3

mmまで熱間圧延し、空冷した。このように作成した熱延板を両面から0.5mmずつ研削し、板厚：2.0mmの冷間圧延用素材とした。次いで、この冷間圧延用素材を圧延油を用いて板厚：0.7mmまで冷間圧延し、冷延板サンプルとした。さらに、この冷延板サンプルを雰囲気焼鈍炉にて、 $N_2+3\%H_2$ の条件で1hrで650℃まで加熱し、650℃×30min均熱の再結晶焼鈍を行い、焼鈍板サンプルとした。

そして、熱延板サンプルおよび焼鈍板サンプルの機械的性質（JIS5号引張試験片、圧延方向）、ミクロ組織（ナイトル腐食）を調査し、薄鋼板の材質特性へのトランプエレメントの影響を評価した。

3. 実験結果および考察

1) 熱延板および冷延・焼鈍板の機械的性質に及ぼすCu、Snの影響

表2に熱延板および冷延・焼鈍板におけるCu、Sn含有量増加による強度および伸びの変化量をまとめて示す。熱延板、冷延・焼鈍板ともに、Cu、Sn含有量が多くなるほど、降伏強度および引張強度は上昇し、伸びは低下する傾向があるが、冷延・焼鈍板の降伏強度だけはCu含有量増加と共に低下した。今回の成分範囲では、CuおよびSnとも置換型固溶硬化により鋼の強度を上昇させ、これに伴い加工性を低下させるが、含有量当りの効果はSnの方がはるかに大きい。なお、冷延・焼鈍板におけるCu含有量増加に伴い降伏強度が低下するのは、Cu含有量が増加するほど再結晶後の結晶粒径が増大したことによる。

表2 熱延板および冷延・焼鈍板におけるCu、Sn含有量増加による機械的性質の変化量

種類	単位	YP(MPa)	TS(MPa)	El(%)
熱延板	Cu:0.1%当り	1.5	4.9	-0.5
	Sn:0.01%当り	1.0	1.5	-0.8
冷延・ 焼鈍板	Cu:0.1%当り	-10.0	2	-1.3
	Sn:0.01%当り	0.9	1.2	-0.3

2) 熱延板および冷延・焼鈍板のミクロ組織に及ぼすCu、Snの影響

熱延板のフェライト結晶粒径はCu、Sn含有量の増加とともに小さくなったが、冷延・焼鈍板のフェライト結晶粒径は、Sn含有量の増加とともに小さくなるものの、Cu含有量の増加とともに増大した。Cu、Snは置換型固溶元素として結晶粒の成長を抑制する効果はあるが、冷延・焼鈍板の場合に、Cu含有量の増加とともに結晶粒が著しく成長したのは以下のような理由によると考えられる。すなわち、徐加熱焼鈍では、回復・再結晶段階におけるAINの析出が再結晶後の結晶粒の大きさに顕著な影響を及ぼすことが知られており、今回の場合もCuが回復・再結晶段階におけるAINの析出挙動に影響を及ぼしたためと考えられる。なお、このような結晶粒の粗大化が生じない成分系および焼鈍条件ではCu含有量増加による冷延・焼鈍板の降伏強度の変化は、熱延板並と予想される。

4. まとめ

低C-Alキルド鋼をベースとしてCuおよびSnの含有量を実用的な範囲内で変化させたサンプルについて、熱延板および冷延・焼鈍板の強度および伸び特性を調査し、薄鋼板の材質特性へのCuおよびSnの影響を定量的に把握した。

5. 今後の予定

平成13年度は冷延・焼鈍板の集合組織（X線積分反射強度）を調査し、再結晶集合組織へのトランプエレメントの影響を評価する。また、冷延・焼鈍板の磷酸亜鉛化成処理性（スプレータイプおよびディップタイプ）、および、焼鈍による表面近傍の各種元素の濃化挙動などを調査し、表面特性へのトランプエレメントの影響を明らかにする。なお、表面特性については、比較材として焼鈍前の冷延板についても調査する予定である。