

身近な金属の
ミクロ組織を読む

第8回

金属バットは シリーズ 材料の素顔に迫る

はじめに

野球用のバットは本来木製で、材料として“とねりこ”などが用いられてきた。ところが、1969年(昭和44年)頃に、アルミニウム合金製の金属バットがアメリカで登場し、これが輸入されて日本でも普及し始めた¹⁾²⁾。1974年(昭和49年)には高校野球連盟で金属バットの使用が認められ、以来、金属バットは高校野球をはじめ広く使用されている。

つくり方

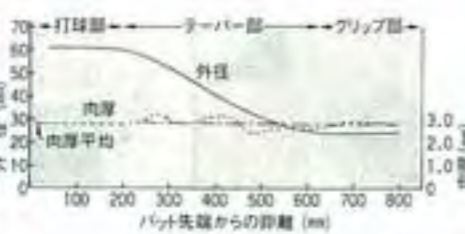
金属バットは、アルミニウム合金のパイプを素材として、テーパ一部加工、先端の成形(閉口)、熱処理、表面処理、グリップエンドの取り付けなどの工程を経てできあがる¹⁾²⁾。



(注1)テーパ一部加工: スエーシング・ダイで削ってテーパの形に加工する。
(注2)材料を強化するために行う熱処理で、溶体化と時効の2段階からなる。溶体化: 約500℃に加熱した後、水槽に漬けて急冷する。これは、合金元素として加えられているCu、Zn、Mgなどをアルミニウムの中に均一に溶かし込むためである。時効: 水中から取り出したバットを、もう一度約120℃の中に入れて、長時間保持(時効処理)する。この処理によってCu、Zn、MgやAlの析出物が形成され、材料は硬くなる。スエーシングともいう。
(注3)アルマイト処理: パイプを酸に漬けて電流を通し、表面にアルミニウムの酸化膜をつける。アルミニウムの酸化膜は非常に硬いので、バットにキズがつきにくくなる。
(注4)封孔処理: アルマイト処理でつけた膜には、八手のように小さい穴がたくさんあいている。次にこれを熱湯の中に漬けると、酸化アルミニウムは水和して膨張し穴が閉じて耐食性が改善される(文庫3)。

調査したバット

金属バットには硬式用、軟式用、ソフトボール用の3種類があるが、今回調査したのは硬式用である。グリップ部のすべり止めのテープを取り除いた後の外観を[写真1]に示す。全長約85cmのうち、バット先端側とグリップ側のそれぞれ約20cmはほぼ一様な外径を有するが、その中間はテーパ部となっており、外径が約60mmから24mmまで変化する。[写真1]に示す各部の断面から、グリップは本体パイプ部にグリップエンドをはめ込み、溶接接合していることがわかる。バットの先端部は、加熱後回転しつつお椀型のヘラを押しつけて成形し、先端を閉じたものと考えられる。複雑なメタルフローと鍛造時の割れが見られる。バットの肉厚は多少変動しているものの、ほぼ一様で2.8mm程度である[図1]。



【図1】金属バットの外径および肉厚の分布

調査結果

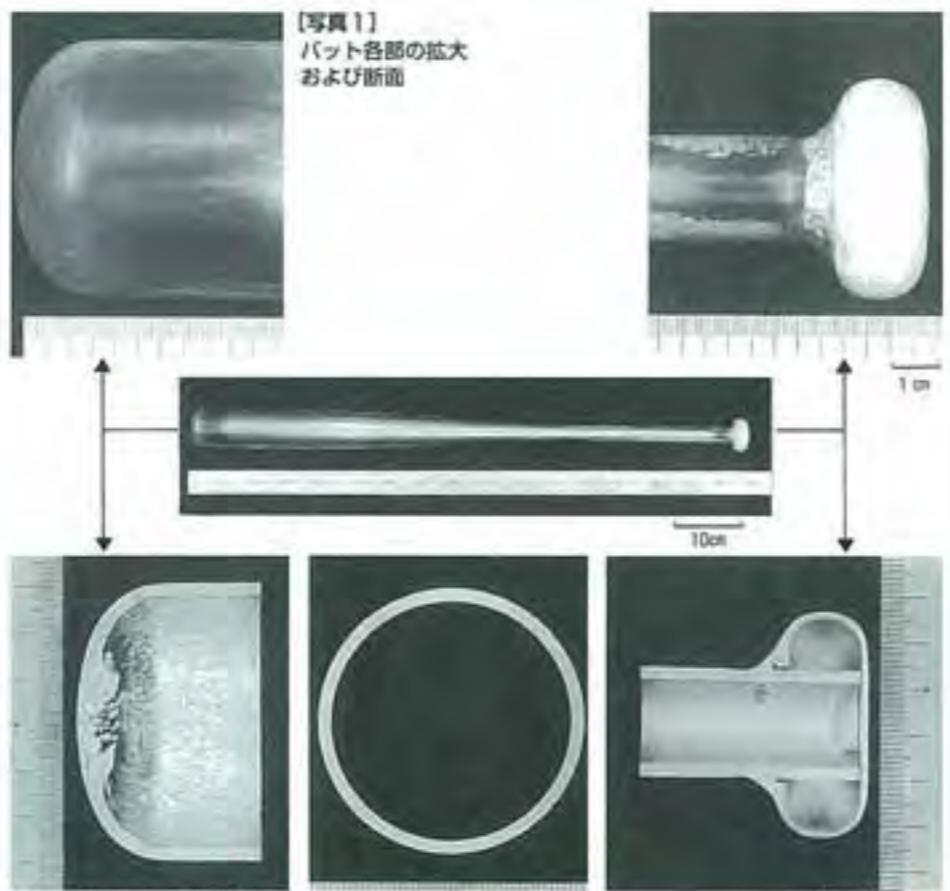
化学成分の分析によると、バット本体の素材は、Cu、Mg、Znを合金元素とするCu-Mg-Zn系高力アルミニウム合金(7000系)である[表1]。一方グリップエンドは、Mg系アルミニウム合金(5000系)である。

本体の硬さ[表2]は、HV135-159[MHV、荷重100g]だが、グリップエンドは軟らかく、HV60程度である。

次に金属組織を[写真2][写真3]に示す。[写真2]はバット各部の顕微鏡写真であるが、バット本体ではバットの軸方向に伸びた長細い形状の結晶粒が観察される。本体とグリップの溶接部では結晶粒界がはっきりと現われ、また粒内には多くの空孔(ポーア)が観察される。[写真3]はバット本体



【写真1】バット各部の拡大および断面



【表1】金属バットの化学成分

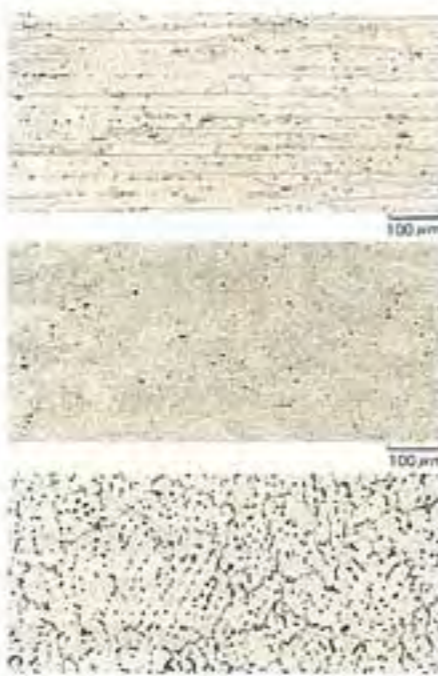
規格	合金記号	化学成分 wt%							
		Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti
JIS	5082	≦0.25	≦0.40	≦0.10	≦0.10	2.2-2.8	0.15-0.25	≦0.10	—
	7075	≦0.40	≦0.50	1.2-2.0	≦0.30	2.1-2.9	0.18-0.28	5.1-6.1	≦0.20
AA*	7178	≦0.40	≦0.50	1.6-2.4	≦0.30	2.4-3.1	0.18-0.40	6.3-7.3	≦0.20

参考規格:

規格	合金記号	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti
JIS	5082	≦0.25	≦0.40	≦0.10	≦0.10	2.2-2.8	0.15-0.25	≦0.10	—
	7075	≦0.40	≦0.50	1.2-2.0	≦0.30	2.1-2.9	0.18-0.28	5.1-6.1	≦0.20
AA*	7178	≦0.40	≦0.50	1.6-2.4	≦0.30	2.4-3.1	0.18-0.40	6.3-7.3	≦0.20

【表2】金属バットの硬さ

部位	MHV(荷重100g)
バット本体	144-148
グリップ部	135-159
グリップエンド	58-59
本体とグリップエンドの溶接部	101-117



【写真2】バット各部の金属組織(光学顕微鏡写真) 上から本体打撃部、グリップ部、グリップエンドとの溶接部

【写真3】バットの打球部の金属組織 20μm

の打撃部のやや高倍率の金属組織(硬さはHV144-148)である。

まとめ

調査した硬式用金属バットは、ほぼ一様な肉厚を有するテーパ付パイプ(グリップエンドを溶接した)パイプ(グリップエンドを溶接した)パイプもあるのだが¹⁾、調査したバットの製造ではそのような意図はなかったものと思われる。材料としては、本体はCu、Mg、Znなどの析出による強化をねらいとした高力アルミニウム合金(7000系、

なぜ折れない? ●当社元相談役 邦武 立郎

テレビのプロ野球中継を見ていると、木製のバットが折れるシーンを時々みかけます。しかし、高校野球などで**金属バットが折れた**という話はめったに聞きません。金属バットが折れにくいのはなぜか?—今回はその秘密に迫ります。

いわゆる超々ジュラルミン)を、グリップエンドにはAl-Mg系合金(5000系)を用いている。ボールの打撃部は、直径約60mm、肉厚2.8mmで、軸方向に結晶粒が長く伸びた金属組織を呈している。本体の硬さはHV145近辺(引張強さは50kg/mm²程度と推定)で、アルミニウム合金としてはもっとも強度の高い部類に属する。

おわりに

高速で飛んでくるボールを瞬時にはじき返し、ボール(硬式ボールの重さは約145g)に大きい初速を与えるわけであるから、打球時バットには極めて大きな衝撃力が作用する。試合中に木製のバットが折れて飛ぶ様子を目撃するのは珍しいことではない。バットを金属に置き換えるという発想は、強度的により信頼できる(強度の安定性が高い)材料を求めるところから出たものであろう。

金属バットで問題となるのは重さである。アルミニウムは軽い金属ではあるが、それでもなお比重は木材(とねりこ)の約4倍もある。しかし、強さが4倍以上あつて断面積を4分の1にできるならば重さを変えないですむ。7000系のアルミニウム合金の弾性率や引張強度はとねりこの約4倍もある[表3]。事実、今回調査した金属バットの打球部の断面積は、同一直径の中実品の約20%にとどまっている。市販の硬式用バットの寸法を調査した結果[表4]によれば、アルミニウム合金製のバットは木材製のバットに比べて5%程度軽くなっており、中には10%以上軽いものも見受けられた。このように軽くてしかも強い高力アルミ合金の採用によって、高性能の金属バットが実現したのである。(注5) 付言すれば、アルミニウム合金は木材(とねりこ)よりも靱性がすぐれていることが分かる[表3]。破壊靱性が大きいということは、万一クラックが発生しても伝播しにくいということであり、それだけ安心できる。最近ではある金属バット特有の高い金属音を嫌って、中空パイプの内部にスポンジ風の詰め物をして、先端に合成樹脂製のキャップ

をかぶせたり、いろいろの工夫をこらしている。またソフトボールや軟式用にカーボン製のバットも出現している。ゴルフクラブ同様、野球バットにもハイテク素材の採用が進んでいるのである。

(注5)第二次大戦時に航空機用材料として開発された超々ジュラルミンは、7000系高力アルミニウム合金のルーツである。

【参考文献】
1)もの作り不思議百科、JSTP編・コロナ社 1992
2)ものづくり解体新書 1の巻、日刊工業新聞社 1992
3)金属の腐食・防食、CISAI、腐食防食協会編 1988
4)材料工学、堀内、金子、大塚共訳、内田老鶴園 1989

【表3】木材とアルミニウム合金の性質の比較(文献4による)

	密度(ρ) Mg·m ⁻³	弾性率(E) GPa	強度(σ) MPa	破壊靱性(Kic) MPa·m ^{1/2}
とねりこ	0.67	15.8 (木目に平行)	116* (木目に平行)	0.61 (木目に平行)
アルミニウム合金(7000系)	2.8	71	500**	28

*引張強度 **降伏強度

	E/ρ	σy/ρ	Kic/ρ
とねりこ	24	170	1
アルミニウム合金(7000系)	25	179	10

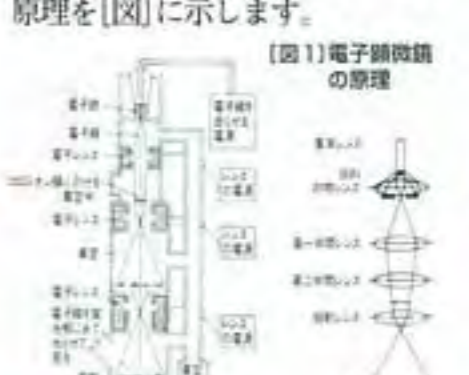
【表4】市販の硬式用バットについての調査 E/ρ等は、密度(ρ)を考慮した材料の力学的性質の比較にはしばしば用いられる。

材料	銘柄数	寸法		
		長さ(cm)	直径(mm)	重さ(g)
木材	4	85	62-63	930-970
アルミニウム合金	20	83-85	65-70	720-890

電子顕微鏡

私たちが人間の目は、あまり小さい物を見たり識別したりすることはできません。しかし、光学顕微鏡で見ると1000分の1mmまで、電子顕微鏡では百万分の1mmまで見ることが出来ます。電子顕微鏡といえよよく聞く言葉ですが、その実体は意外と知られていません。電子顕微鏡には大きく分けて次の2種類があります。
①透過型電子顕微鏡(Transmission Electron Microscope: TEM)
②走査型二次電子顕微鏡(Scanning Electron Microscope: SEM)
実際にはそれぞれに応用装置を付加して使用するので、このほかにもさまざまな電子顕微鏡がありますが、基本はこの2種類です。今回は透過型電子顕微鏡(TEM)について、次回は走査型二次電子顕微鏡(SEM)についてご紹介いたします。

では、光の代わりに電子を、ガラスレンズの代わりに電子レンズを用いて像を拡大します。つまり電子が主役を果たしているのが、電子顕微鏡と呼ばれるのです。その原理を[図1]に示します。



TEMでは何でも見えるのですか?
A それは無理です。透過型の名の示すとおり、電子が検体の中を透過しなければ観察できません。

TEMの性能は現在どのくらいまで進歩していますか?
A 加速電圧3000kV、倍率約150万倍、分解能0.1ナノメートルです。

観察できるのですか?
A いろいろな方法がありますが、鉄鋼材料にかざれば次の2つの方法がよく用いられます。
①レプリカ法: 検体の表面から写しを取って観察する方法
②直接観察法: 検体を200ナノメートルまで研磨し非常に薄い膜状にして観察する方法。

鉄鋼関係の研究ではTEMはどのように利用されていますか?
A 電子レンズの焦点距離を変えてさまざまな情報を得ています。つまり高倍率での金属組織の観察や結晶の解析、あるいは歪分布の観察など広範囲にわたって利用されています。

TEMの規格はどのように表示されていますか?
A 電子が検体の中を透過できるように、電子にエネルギーを与えます。このエネルギーが高ければ高いほど電子は厚い検体の中を通過できます。通常はこれを加速電圧として規格表示します。たとえば100kV電子顕微鏡、200kV電子顕微鏡といった具合です。

TEMの性能は現在どのくらいまで進歩していますか?
A 加速電圧3000kV、倍率約150万倍、分解能0.1ナノメートルです。

観察できるのですか?
A いろいろな方法がありますが、鉄鋼材料にかざれば次の2つの方法がよく用いられます。
①レプリカ法: 検体の表面から写しを取って観察する方法
②直接観察法: 検体を200ナノメートルまで研磨し非常に薄い膜状にして観察する方法。



話 TOPICS 題

康さん、博士号取得!

当社の康部(康部)さんが、東京大学から工学博士号を取得しました。康さんは中国河北省出身で、中国の大学を卒業し、東京大学大学院博士課程に入学し、1993年10月に博士号を取得しました。博士論文は「鉄鋼材料の電子顕微鏡による組織解析」で、金属材料の組織解析に貢献したと評価されています。康さんは現在、当社の技術開発部で、金属材料の組織解析を担当しています。康さんの取得した博士号は、金属材料の組織解析の分野で重要な成果を挙げたことを示しています。康さんの取得した博士号は、金属材料の組織解析の分野で重要な成果を挙げたことを示しています。