

ダイカストシルミンの研究

南波栄吉* 小材英敏** 武谷良明***

Study on Silumin Die-Casting

By Eikichi Nanba, Hidetoshi Kozai
and Yoshiaki Takeya.
Central Laboratory, Hitachi, Ltd.

Abstract

A series of experiments were carried out to clarify some factors relating to silumin die casting, and the following results were obtained.

(1) In the case of Ni-Cr steel die, the microscopical examination revealed that heat checks occurred along a line of the globular cementite separated from intercrystalline of ferrite. Repeated heating above the transformation temperature caused cracks on almost all kinds of steels, while under that temperature no cracks were observed except on a Ni Cr steel which carried heat checks on its surface.

(2) The higher the temperature of dies and the lower the casting temperature, the finer was the surface of silumin die-casting

(3) Iron content above 1% in silumin lowered its tensile strength and elongation. Zinc content above 2% had likewise the same effect. The impact strength of silumin was improved by addition of zinc, but lowered by iron.

(4) Addition of iron up to 1~2% improved the fluidity of silumin, but any amount exceeding that figure decreased it. Zinc content exceeding about 3% also improved it, producing no effect under that value. Silumin containing more than 1% of iron showed a marked improvement when added with a certain amount of Mn or Cu but not with Cr.

[I] 緒 言

シルミンのダイカストには種々の問題があるが、そのうちもつとも重要と思われる金型の亀裂、ダイカスト品の鑄肌の問題、及びシルミンの機械的性質と流動性に及ぼす不純物の影響をしらべた。

すなわち、金型の亀裂と組織をしらべ、変態点以上及び以下の繰返加熱による亀裂を実験し、さらにシルミンの鑄肌に及ぼす金型温度と注入温度の影響をしらべた。また不純物としては現場の事情から主としてFe及びZnについて実験し、これらがシルミンの常温及び高温における機械的性質、並びにその熔湯の流動性に及ぼす影響を明かにするとともに、Fe 1% 以上を含有する不純シ

ルミンの流動性に対する Mn, Cr, Cu の影響をしらべた。

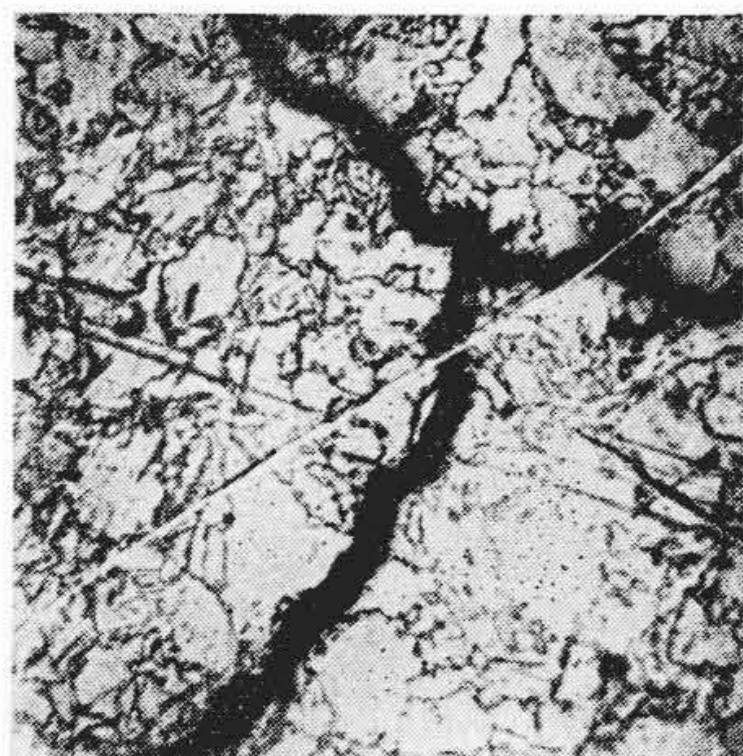
[II] ダイカスト金型の亀裂

(1) 網状亀裂と組織

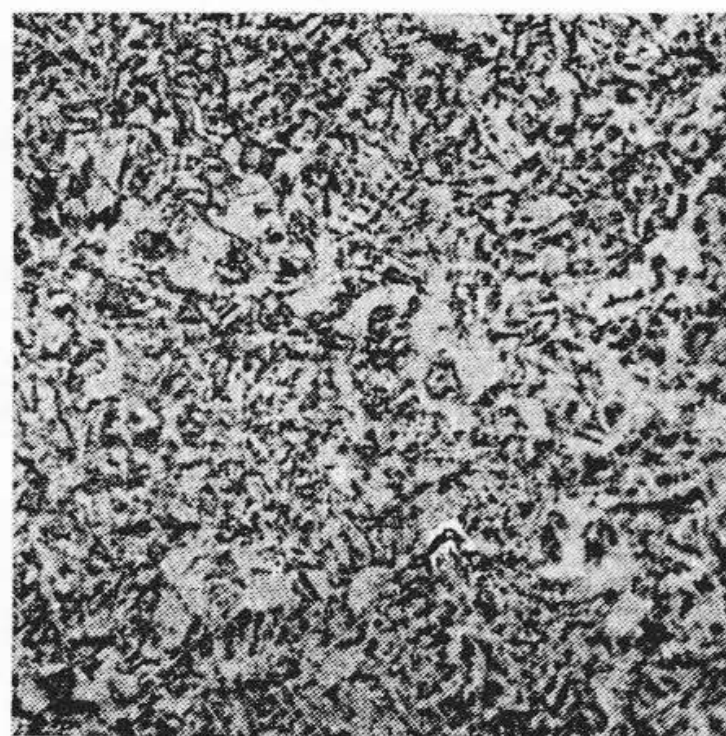
ダイカストに用いる金型の内面は、熔湯の注入によつて瞬間的に温度が上つて熱膨脹を起し、それが弾性変形以上になると塑性変形を生ずるから、冷却にさいしてその面に張力が作用する。そのために金型を繰返して使用中にその内面に網状亀裂が発生する。熔湯の注入温度が高いほど熱膨脹が大きいから、シルミンダイカストではZn合金の場合よりも網状亀裂を生じやすい。

その一例として、網状亀裂を生じた Ni-Cr 鋼 (C 0.24, Si 0.12, Mn 0.33, Ni 0.24, Cr 0.94) の金型

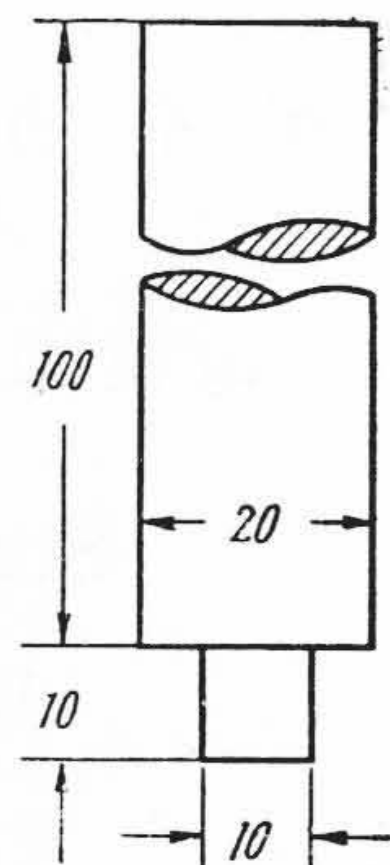
* ** *** 日立製作所中央研究所



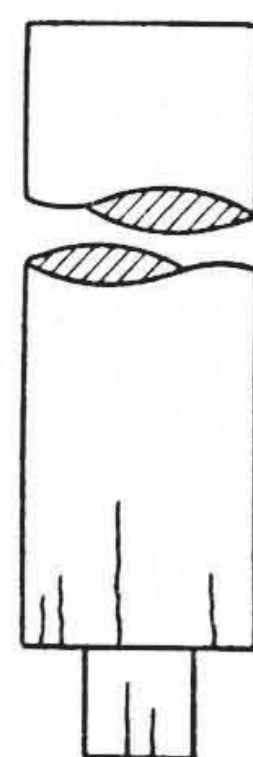
第 1 図 Ni-Cr 鋼金型の
網状亀裂×100
Fig. 1. Heat Checks in
Ni-Cr Steel Die



第 2 図 亀裂のない Ni-Cr
鋼金型組織×100
Fig. 2. Structure of Ni-Cr
Steel Die with no
Heat Checks



第 3 図 繰返加熱試験片
寸法
Fig. 3. Dimension of
Test Piece for
Repeated Heating



第 4 図 繰返加熱冷却
による亀裂
Fig. 4. Cracks Obtained by Repeated Heating

について亀裂部分の顕微鏡組織をしらべたところ、第 1 図のように、フェライトに炭化物が分離しておる異状組織を呈し、しかも炭化物は粒状のものがフェライトの粒界にそうて析出し、亀裂がこの炭化物にそうて生じておる。亀裂のないものは第 2 図のようにフェライトとソルバイトからなるほぼ均一な組織である。本鋼種の変態点は、700~750°、焼戻温度は 600~650° であり、シルミンの熔湯が金型に注入される温度は実測の結果最高 690° 前後であるから、鑄造時に金型の内面が焼戻温度以上に加熱されて、繰返して使用中に炭化物の凝集移動が起り異状組織に変化したものと考えられる。故に金型材料にはその焼戻温度が熔湯の注入温度よりもなるべく高いものが適当である。

(2) 変態点以上の繰返加熱

第 1 表に示す各鋼種について、第 3 図の丸棒試験片を 4 本づゝ用い、変態点直上に 20 分保持→先端部約 20mm を 5 分間水冷→全体を水冷→700° の鉛浴に 1 分保持→空冷、の操作をくりかえし急熱急冷を行つた。その結果は繰返回数が 5 回までのうちに第 2 表の如くいづれも亀裂を生じた。第 4 図はその亀裂の状態を示し、軸方向に直線的の劈開割れを生じておるが、炭素鋼では試料の

第 1 表 試料の化学成分及び変態点

Table 1. Chemical Compositions and Transformation Points of Samples

成分 試料	C	Si	Mn	Cr	Ni	Al	Ac ₁ 点
イ 234	0.40	1.13	0.92	1.08			778°C
イ 237	0.33		0.96	2.63	1.45		765
イ 238	0.24		0.74	1.92	1.41		764
イ 131	0.40			1.50		1.5	780

第 2 表 繰返加熱回数と試料の亀裂発生

Table 2. Number of Cracked Samples Under Repeated Heating

繰返 回数 試料	1	2	3	4	5	亀裂 個数	無疵 個数
イ 234					2	2	2
イ 237	2			2		4	0
イ 238				2		2	2
イ 131		4				4	0

下端から高さ 30 mm 位までに網状亀裂が発生した。

以上のように変態点以上に急熱急冷をくりかえすと大部分の鋼種は容易に亀裂が発生することが知られる。故に金型材料にはその変態点が熔湯の注入温度よりもなるべく高いものが必要である。

(3) 変態点以下の繰返加熱

第 3 表の材料を用いて 10×10×20 mm の試験片を作り、650~700° の鉛浴に 10 分保持後たゞちに 10 秒油冷し、この加熱冷却を 300 回くりかえしたところ、Ni-Cr 鋼及び炭素鋼には亀裂の発生がみとめられなかったが、白鉄は 50 回前後で不規則な微細亀裂を生じた。また鉛浴の代りにシルミン浴を用い、650° のシルミン浴に 10 分保持後水冷する方法をくりかえした結果、前記の Ni-Cr 鋼金型の亀裂部分から採取した試料は繰返回数が 20

第 3 表 試料の化学成分

Table 3. Chemical Compositions of Samples

	C	Si	Mn	Ni	Cr
Ni-Cr 鋼	0.24	0.12	0.33	2.64	0.94
高炭素鋼	1.00	0.25			
白鉄鉄	2.82	1.15	0.45		

回位で、すでに亀裂を生じている個所から新たに小さい亀裂を発生しているのをみとめたが、亀裂を生じていない Ni-Cr 鋼では亀裂の発生を認めなかった。

以上の結果から、変態点以下に急熱急冷をくりかえしても本実験程度の繰返回数では、Ni-Cr 鋼及び高炭素鋼は亀裂を生じないが、すでに亀裂を発生しているものは容易に亀裂を増加することが知られるのであつて、繰返加熱中に生ずる内部応力を除去するために亀裂の発生前に金型を 650° に焼鈍することが適当であると考えられる。

〔Ⅲ〕 鑄肌に及ぼす金型及び注入温度の影響

(1) 上注ぎ方法による実験

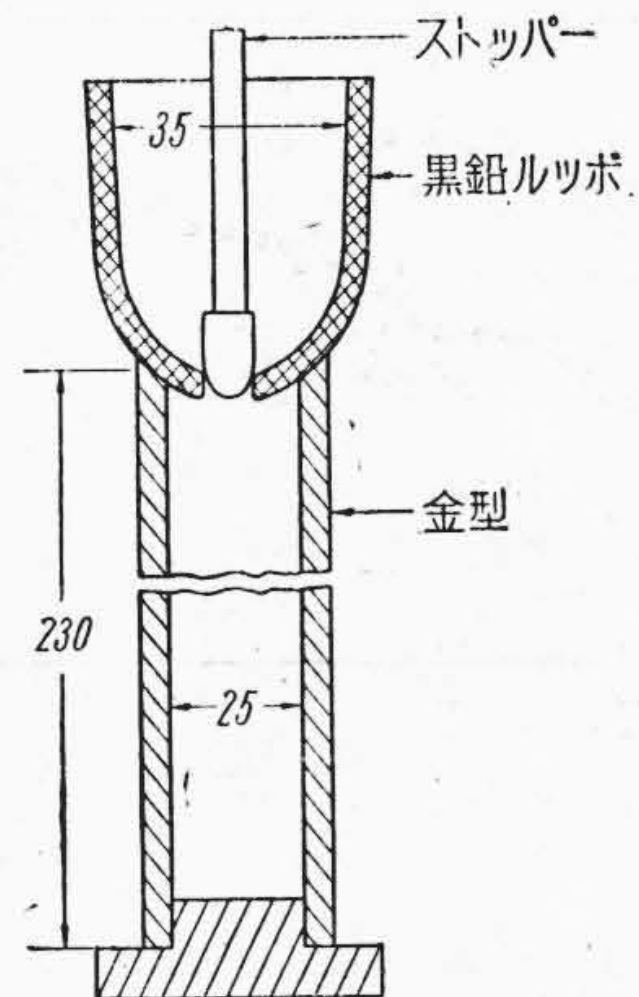
シルミンのダイ鑄物には種々の小じわを持つた不良鑄肌を生じやすい。鑄肌面に影響する因子には種々あるがこゝにはその主たる金型及び注入の温度の影響を実験した。第 5 図の装置により、黒鉛ルツボ内に一定のレベルまで満したシルミンの熔湯をルツボの底のノズルから円筒形の金型に注入し、その時の金型温度を常温 ~400° に、また注入温度を 650~800° に変えて、鑄肌の良否をしらべた。金型にはグリンダックを塗布した。試料の鑄肌のシワの程度を第 6 図のように大体として A~C に判別して第 4 表の結果を得た。

注入温度を一定にすると金型温度が高いほど鑄肌が良好になり、金型温度 400° では C 級の不良品が皆無になつておる。金型温度が一定の場合は注入温度が高いほど鑄肌が不良になり、800° で注入すると金型温度を上げてもほとんど効果がない。

ところで、半径 25 mm の半球形の上面開放の金型に 650~800° の熔湯をルツボから直接注入した処、いづれも注入温度に関係なく上記の場合とは比較にならないほど非常に平滑できれいな鑄肌が得られた。この場合は型内の熔湯の流れが緩慢でありガスの放出も行われやすいこと等から考えると、第 5 図の方法ではこれに比べて鑄肌が不良になりやすいことが容易に考えられるのであつて、ましてダイカストのように熔湯を圧力で金型に射入すれば鑄肌が種々の影響に大きく左右されることが想像される。

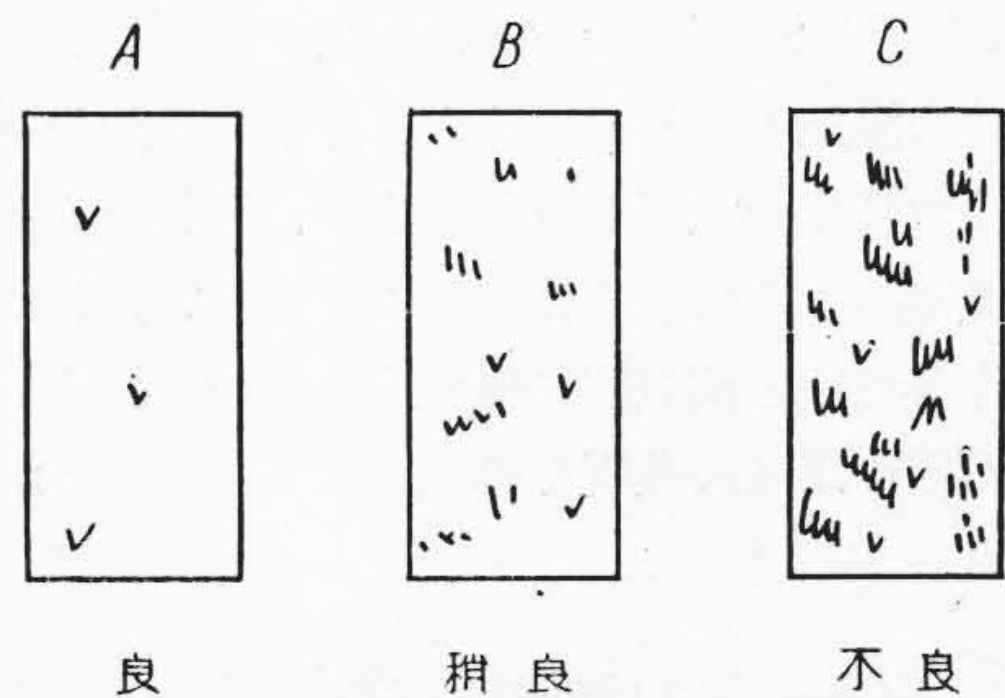
(2) ダイカスト機械による実験

手動式ダイカスト機械を使用して、径 12 mm 長さ 22 mm の円筒試料を鑄造し、鑄肌に及ぼす注入温度と金型温度の影響をしらべた。金型温度を常温 ~400° に変え注入温度を 650~800° に変えた。その結果は前記と同様に、金型温度が一定の場合は注入温度が高いほど概して鑄肌が不良になり、注入温度が一定の場合は金型温度の高い方が鑄肌が良好でまた型離れもよい。



第 5 図 鑄造装置

Fig. 5. Casting Apparatus



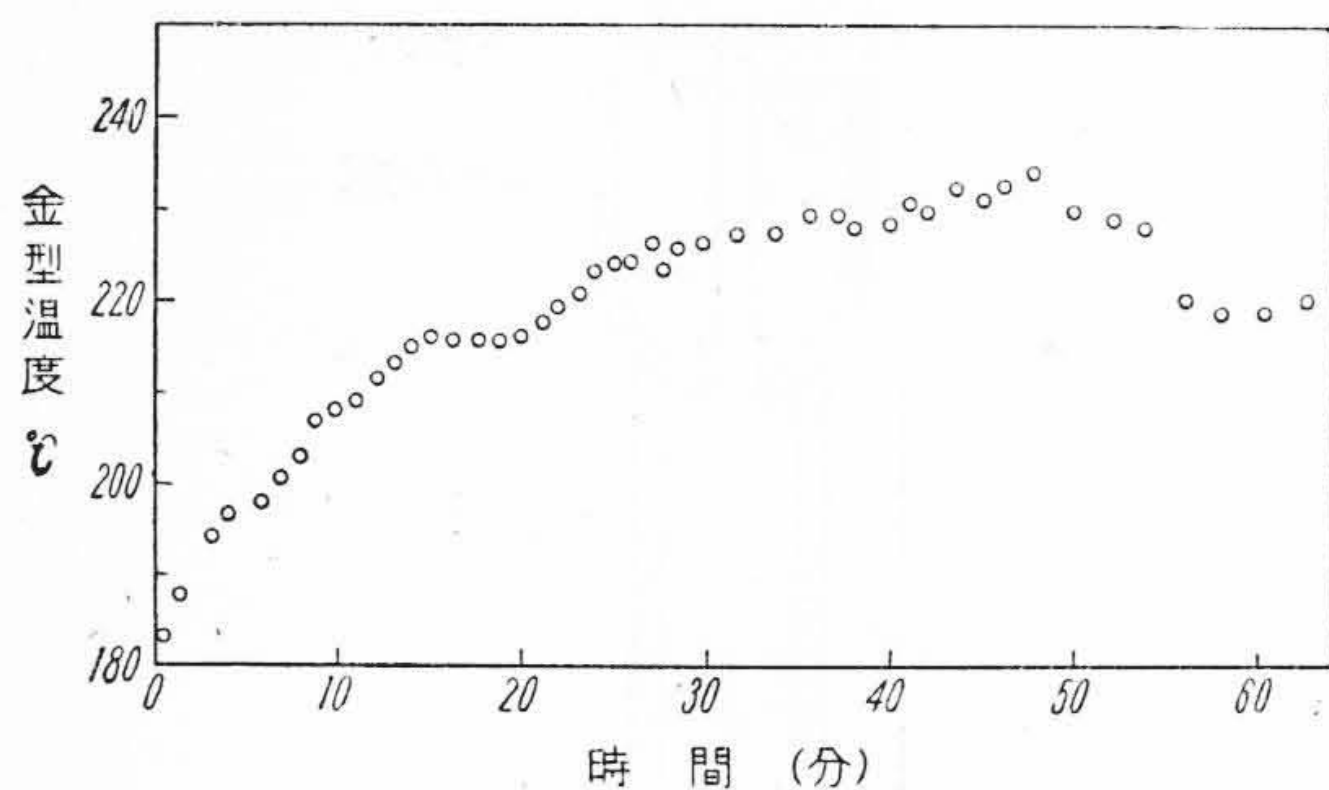
第 6 図 鑄肌の級別

Fig. 6. Classification of Surface of Castings

第 4 表 上注ぎ方法による鑄肌の試験結果

Table 4. Result of Surface Test of Castings by Top Pouring

金型温度 (°C)	注入温度 (°C)	A (良) (%)	B (稍良) (%)	C (不良) (%)
常 温	650	0	58	42
	700	10	40	50
	750	12	58	30
	800	0	34	66
200	650	0	66	34
	700	0	50	50
	750	25	25	50
	800	0	34	66
300	650	—	—	—
	700	40	40	20
	750	0	66	34
	800	0	34	66
400	650	0	100	0
	700	70	30	0
	750	50	50	0
	800	20	80	0



第 7 図 シルミンダイカスト作業の金型温度

Fig. 7. Rise of Die Temperature During Silumin Die-Casting

現場のシルミンダイカストの連続作業における金型温度の測定結果は第 7 図に示す通りで、この図は毎時 120 ~ 130 個の鑄造速度の場合で、金型の内面から 1 cm 深さにおける温度を示しておるが、作業を開始後 45 分位で金型は 50° 位の温度上昇を見るが、それ以上鑄造を重ねても温度がさらに上るようなことはない。したがって実際の作業では金型温度に限度があるから、鑄肌を良好にするためには注入温度を可及的低くすることが必要である。

〔IV〕シルミンの機械的性質に及ぼす不純物の影響

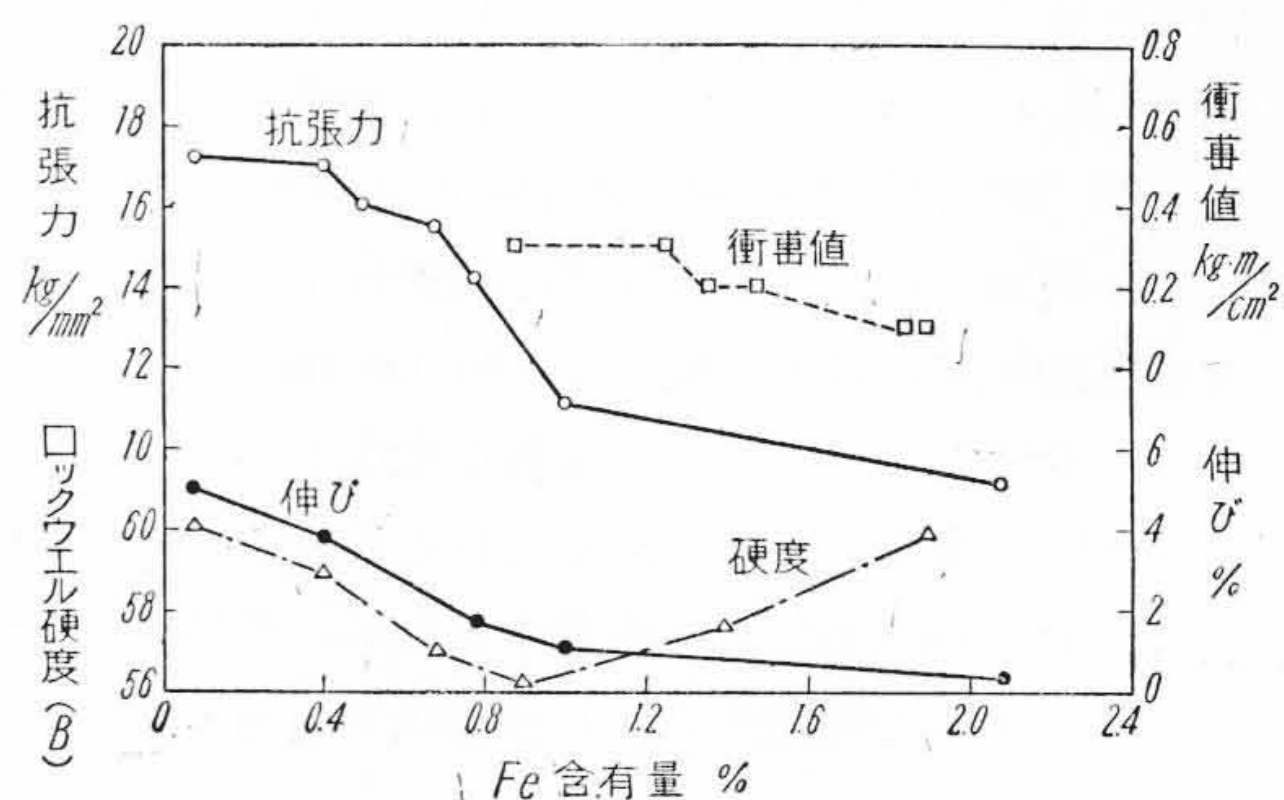
シルミンのダイカスト作業では材料をくりかえして使用中に、Fe が熔解鍋から吸収せられ、またスクラップ中に Zn が混入すると熔湯に Zn が入り来る恐れがある。第 5 表にその一例を示す。よつてこゝには不純物として Fe 及び Zn の影響をしらべた。

シルミンの抗張試験結果に及ぼす Fe の影響については Archer, Pempf⁽¹⁾, 及び Dernauf⁽²⁾ の研究があるがなお衝撃試験及び高温強度に関しては明かにされていない。また Zn の影響については Dernauf⁽³⁾ は抗張力と伸びを低下し Zn 1% 以上は硬度を増すとなし、後藤氏⁽⁴⁾は抗張力を増大するが伸びを減ずるとなし、Laing⁽⁵⁾は強度や靱性にほとんど影響しないとしており、今日までその結論が不明である。

第 5 表 シルミンダイカストにおける不純物の例

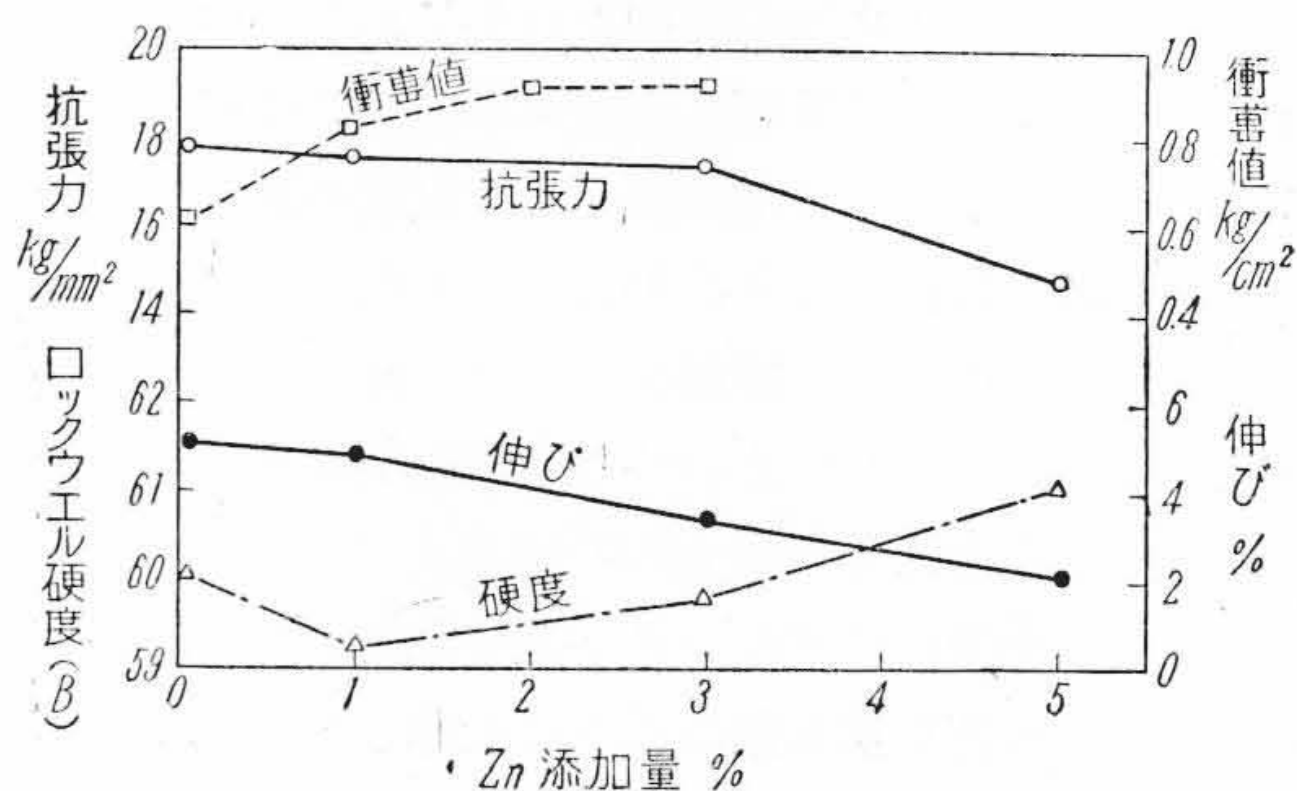
Table 5. Example of Impurities in Silumin Die-Casting

成分(%)	原材料	製 品	ド ロ ス
Si	12.33	12.60	12.56
Cu	無し	無し	微量
Fe	0.67	2.60	5.64
Zn	0.23	0.38	0.48



第 8 図 常温機械的性質に及ぼす Fe の影響

Fig. 8. Effect of Iron on Mechanical Properties at Room Temp.



第 9 図 常温機械的性質に及ぼす Zn の影響

Fig. 9. Effect of Zinc on Mechanical Properties at Room Temp.

こゝにはシルミンに Fe 及び Zn をそれぞれ 0~5% 添加して、常温及び高温における機械的性質を測定するとともに耐蝕性に及ぼす Zn の影響をしらべた。

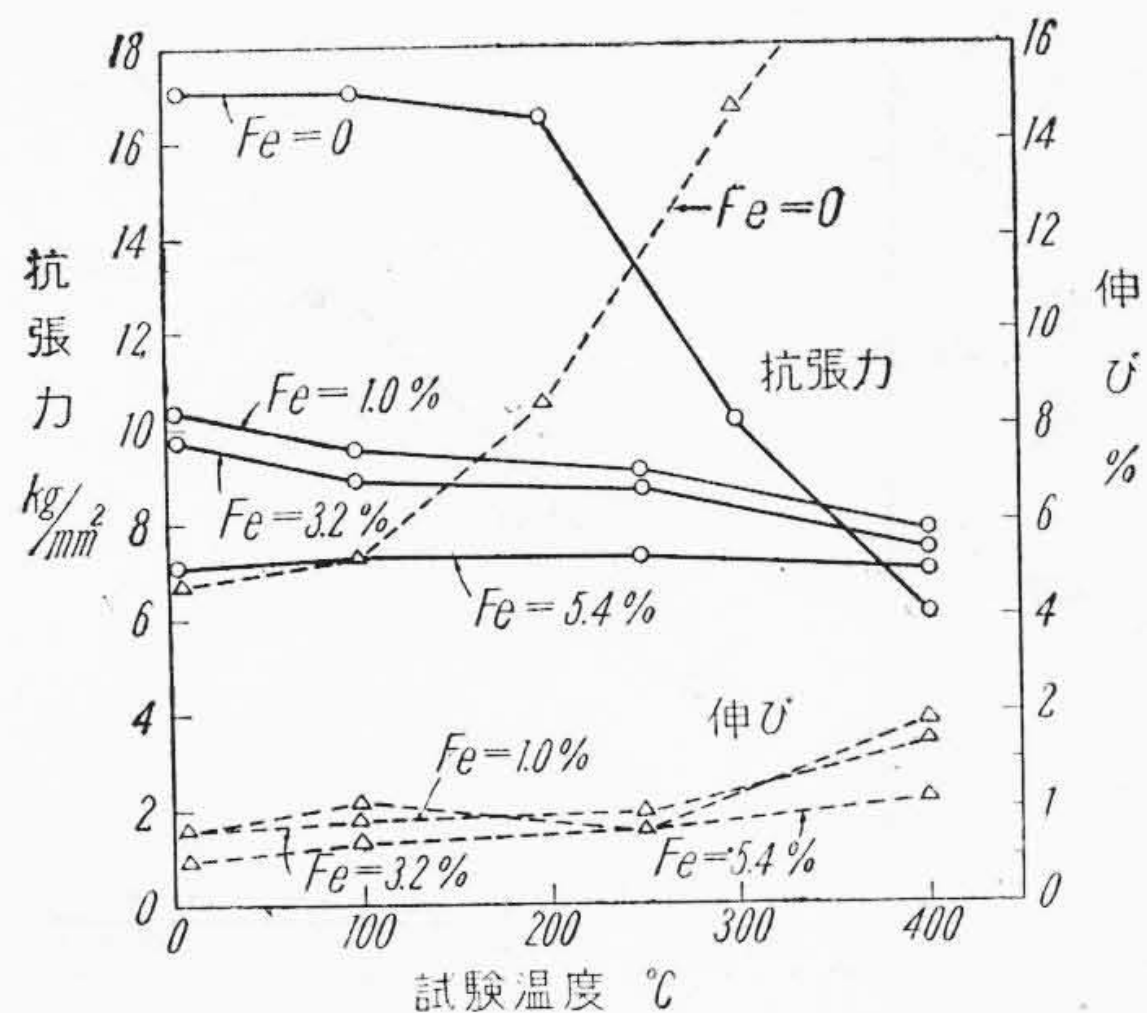
(1) 常温機械的性質に及ぼす Fe 及び Zn の影響

第 8 図に Fe の影響を示す。Fe を増すにしたがい抗張力及び伸びが減少し、Fe 約 0.8% をこえるとこれらが急激に減少する。硬度ははじめやや低下するが Fe 0.8% 位をこえると増加する。シャルピー衝撃値は Fe 0.8% 以上では低下する。これらの理由は、Fe の増加とともに Fe-Al-Si 化合物の脆くて硬い針状晶の析出が増すためである。

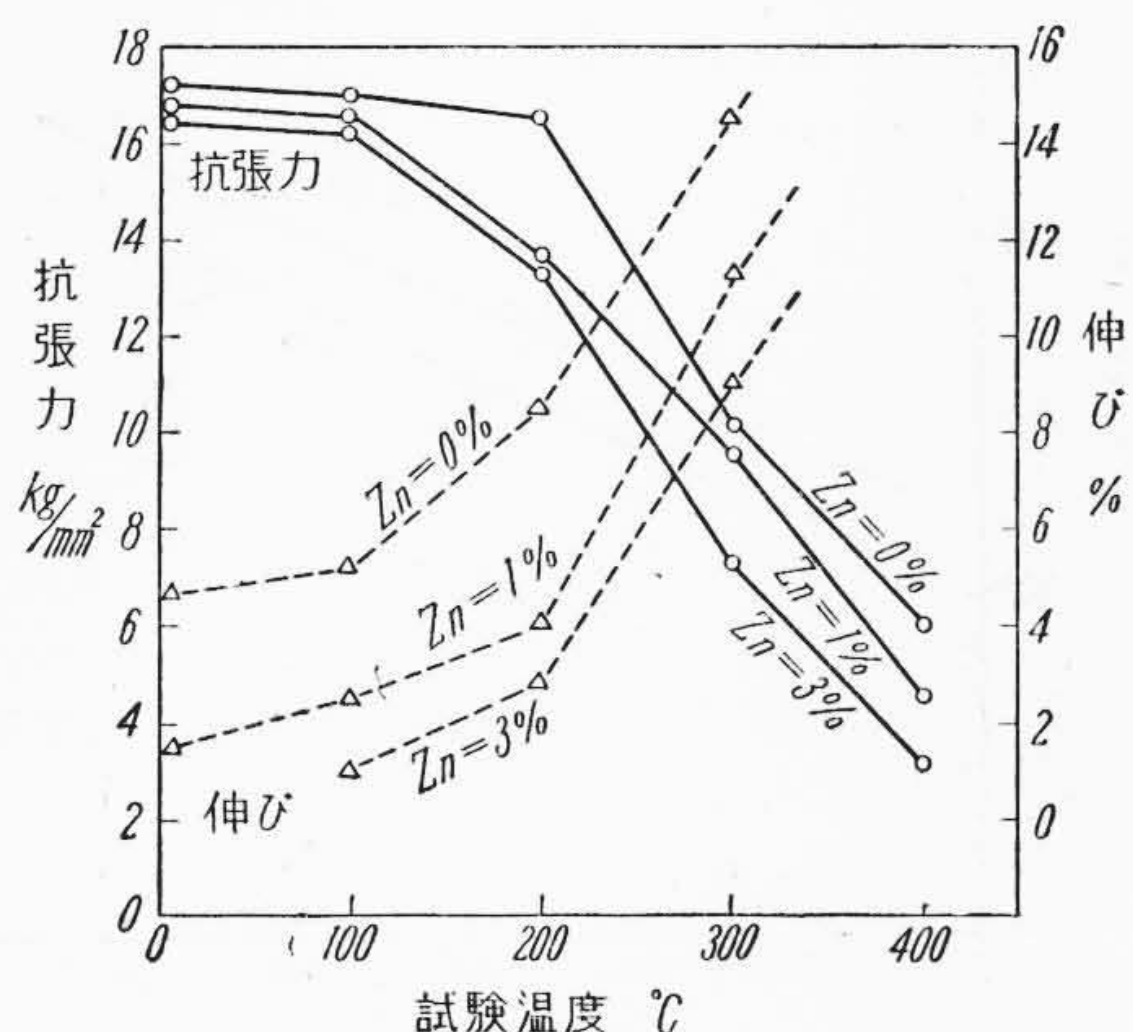
第 9 図に Zn の影響を示す。抗張力及び伸びは Zn 2% 位まではほとんど影響されず Zn 3% 位をこえるとこれらは急に低下する。硬度は Zn 1% 以上で増加の傾向を示しシャルピー衝撃値も Zn 3% までは増加する。これらの理由は Zn を増せばこれが Al に固溶する量が増加するためである。

(2) 高温機械的性質に及ぼす Fe 及び Zn の影響

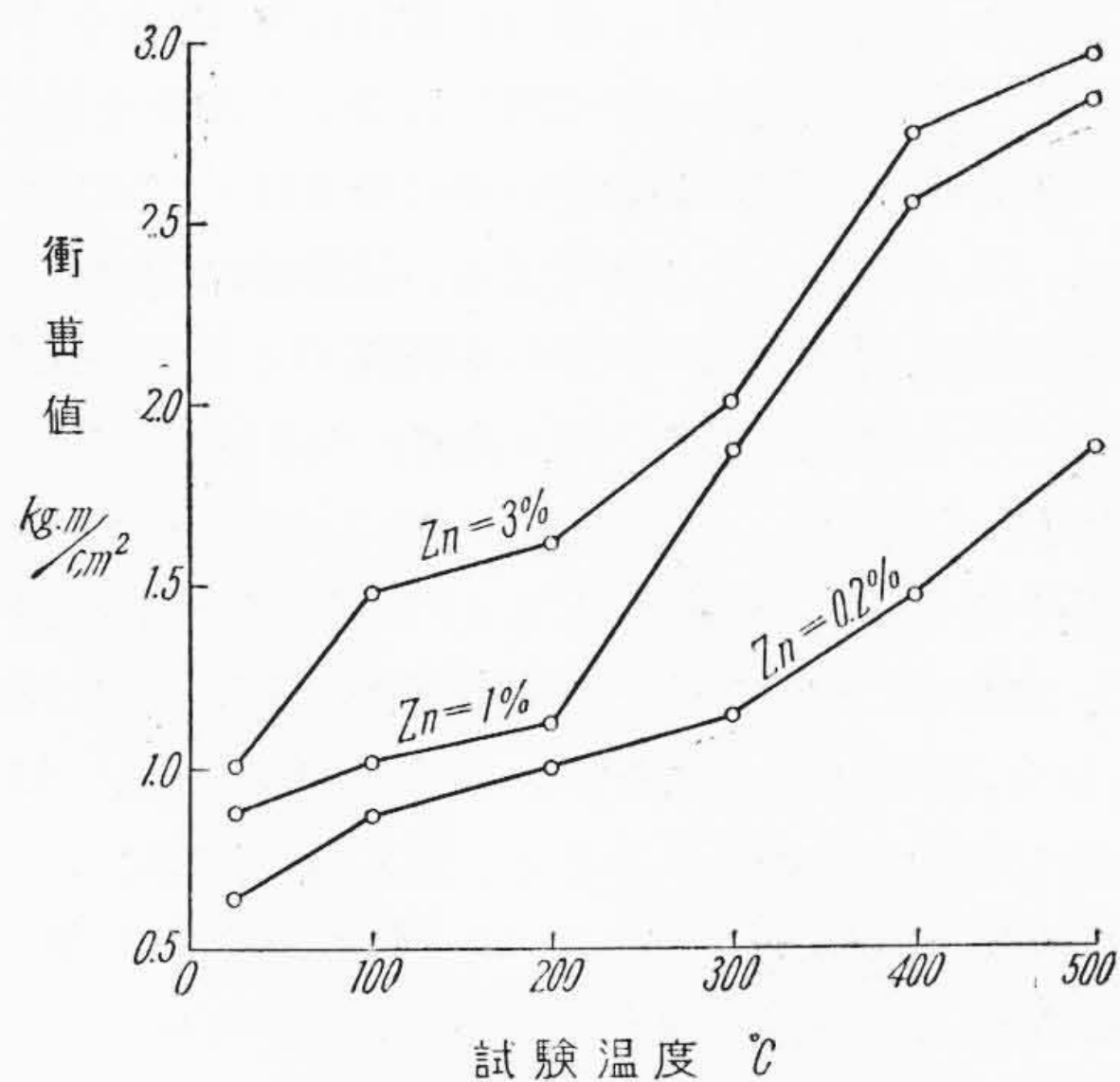
第 10 図に Fe の影響を示す。純シルミンは試験温度の上昇とともに抗張力の低下と伸びの増加を来すが、



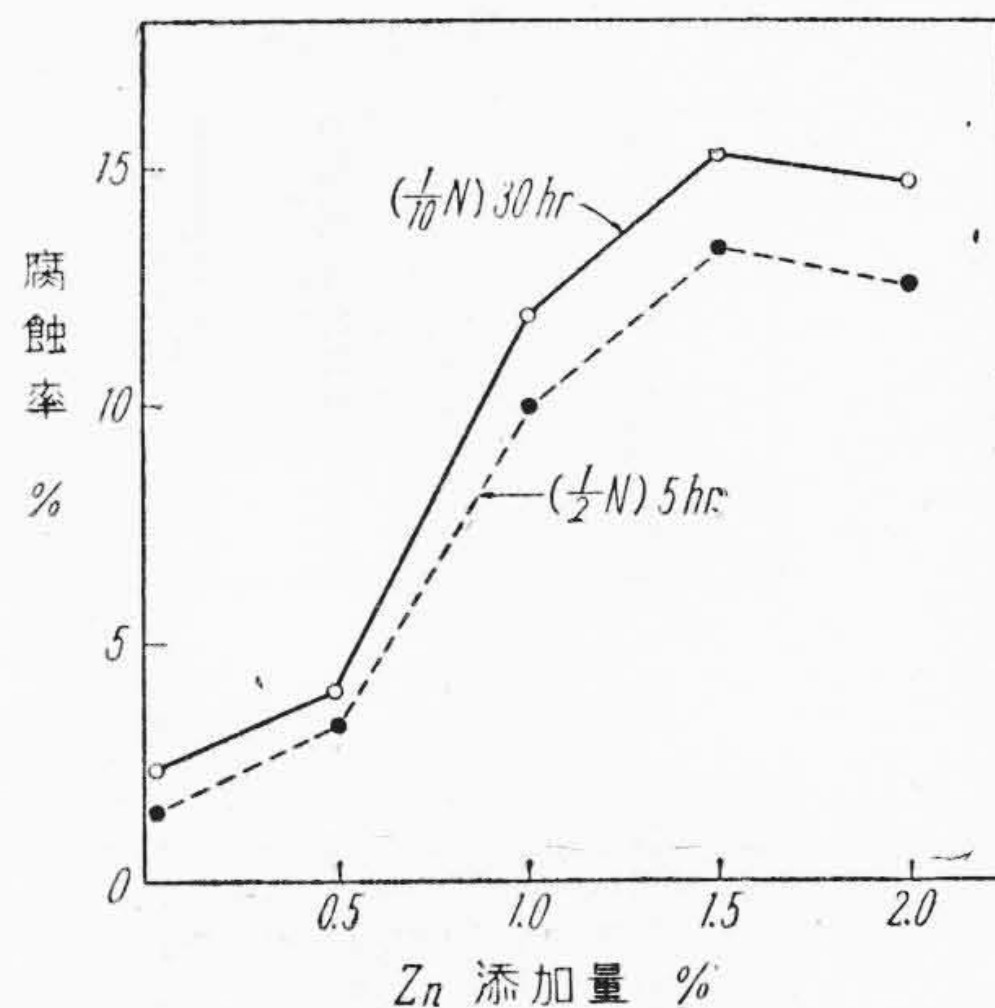
第 10 図 高温抗張試験結果に及ぼす Fe の影響
Fig. 10. Effect of Iron on High Temp. Tensile Test



第 11 図 高温抗張試験結果に及ぼす Zn の影響
Fig. 11. Effect of Zinc on High Temp. Tensile Test



第 12 図 高温衝撃値に及ぼす Zn の影響
Fig. 12. Effect of Zinc on High Temperature Impact Test



第 13 図 腐蝕に及ぼす Zn の影響
Fig. 13. Effect of Zinc on Corrosion of Silumin

Fe 1% 以上を含有するものでは抗張力も伸びも試験温度に左右されることが小さい。そのために試験温度400°では純シルミンの抗張力が Fe 1% 以上のものとほとんど同程度になる。

第 11 図に Zn の影響を示す。高温抗張試験結果に対して Zn は Fe ほどの影響を及ぼさない。Zn 3% まで添加しても大体純シルミンと同様に試験温度の上昇とともに抗張力が低下し伸びが増大する。高温衝撃値は第 12 図のように Zn を増すと総じて増大するが、衝撃値が試験温度とともに増大する程度が Zn の多いものほど大きくなる傾向が見られる。

(3) 耐蝕性に及ぼす Zn の影響

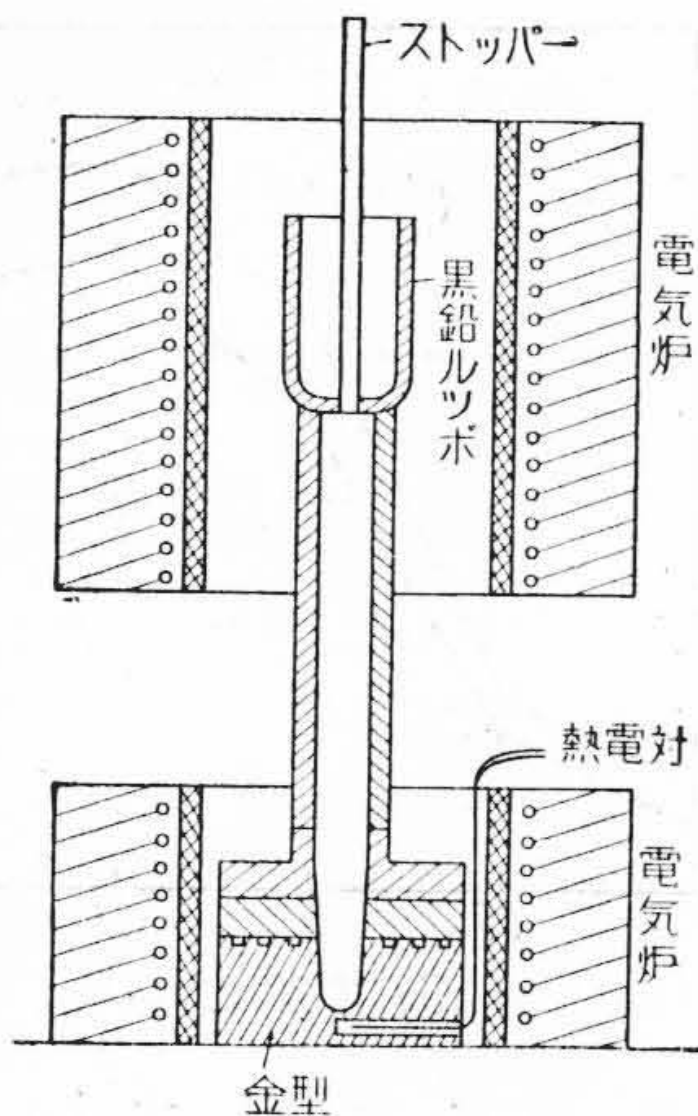
1/2 N 及び 1/10 N の HCl 溶液にそれぞれ 5 hr 及び 30hr 浸漬して腐蝕率を測定した結果は第 13 図のように、Zn を増すにしたがい Zn 1.5% 位までは腐蝕が増すがそれ以上は大して変らない。

[V] シルミンの流動性に及ぼす不純物の影響⁽⁶⁾

ダイ鋳物の良好な鋳肌を得るためには熔湯の流動性が良くなければならない。これに対する上記不純物の影響をしらべた。

(1) 実験の方法

第 14 図の装置を用い、金型に断面 5×5mm 長さ 500 mm の渦巻状湯路を廻りその末端に径 1.5 mm のガス抜をつけ、金型の中心に径 20mm 高さ 150mm の鉄製円筒をおき、その上にのせた黒鉛ルツボの径 7mm のノズルから熔湯を金型に注入した。他のルツボで熔製した湯を黒鉛ルツボ内に一定レベルまで入れ、すばやくストッパーを抜いて注入した熔湯の流れた渦巻の長さを測定した。



第 14 図 流動性試験装置
Fig. 14. Apparatus of Fluidity Test

流動性の測定には操作や手加減が非常に大きく影響するので、練習をくりかえしたあとで、装置及び操作の確実性をたしかめるために、まず従来の文献にあらわれた既知の事柄について予備実験を行い、その結果を確認してから本実験に移行した。

(2) 予 備 実 験

予備実験として次の 3 項目を行つた。

(a) 純 Al とシルミンの比較

Zeerleder⁽⁷⁾ らによると、渦巻状金型を用い注入温度を一定にした場合シルミンの方が Al よりも流動性が高い。こゝには注入温度を 700°、金型温度を常温に、一定して実験を行い、第 6 表に示す如く文献と同様にシルミンの方が流動性が高い結果を得た。

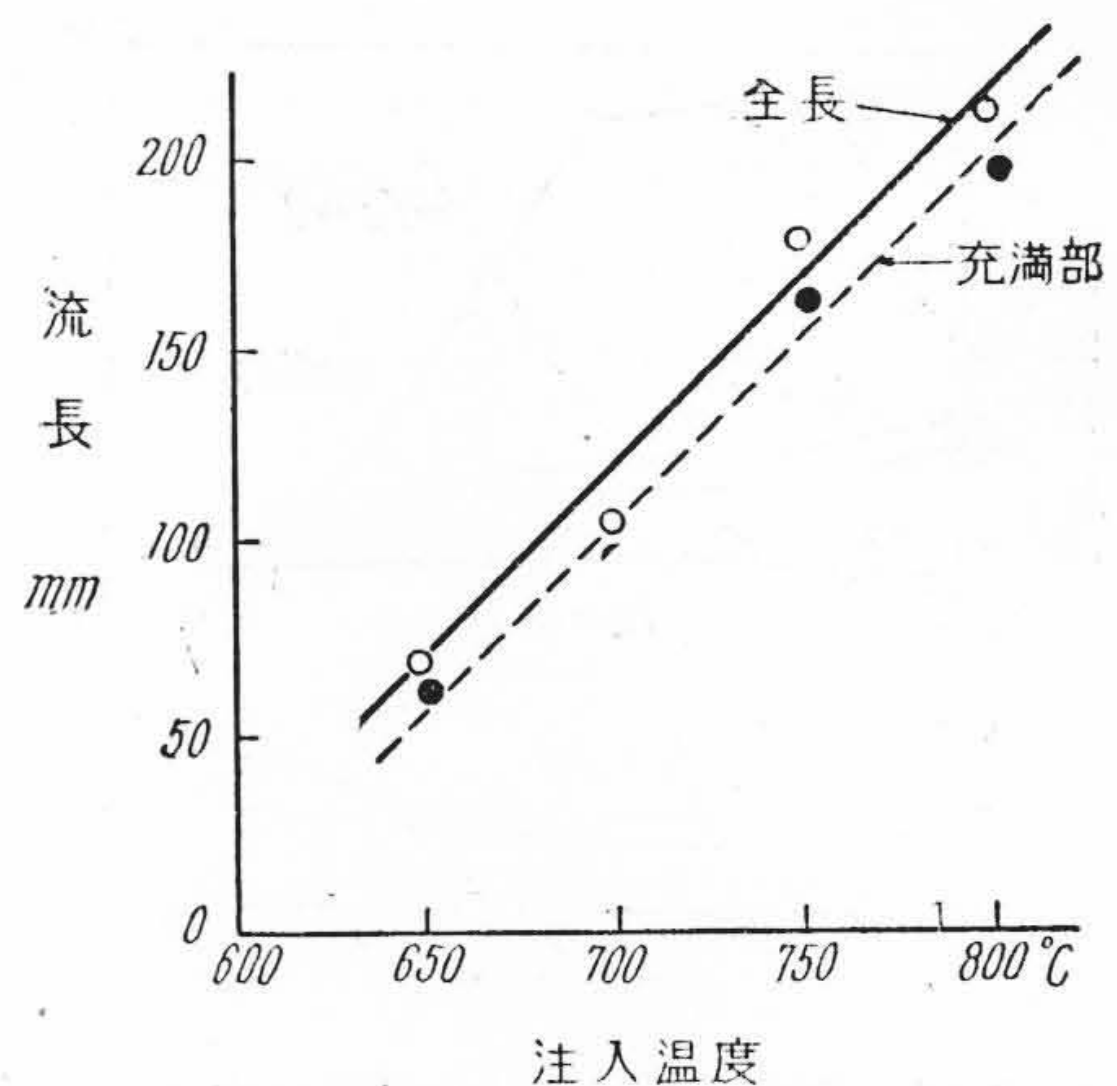
注入温度を高くすればそれだけ注入時の熔湯の粘性が減じ、且つ、熔湯が凝固し始めるまでに降下する温度範囲が広がるから、流動性が増大すると考えれば、シルミンは Al よりも凝固点が 50° 位低いので注入温度が一定の場合はその流動性は Al よりも当然大きいことになる。

(b) 注入温度と金型温度の影響

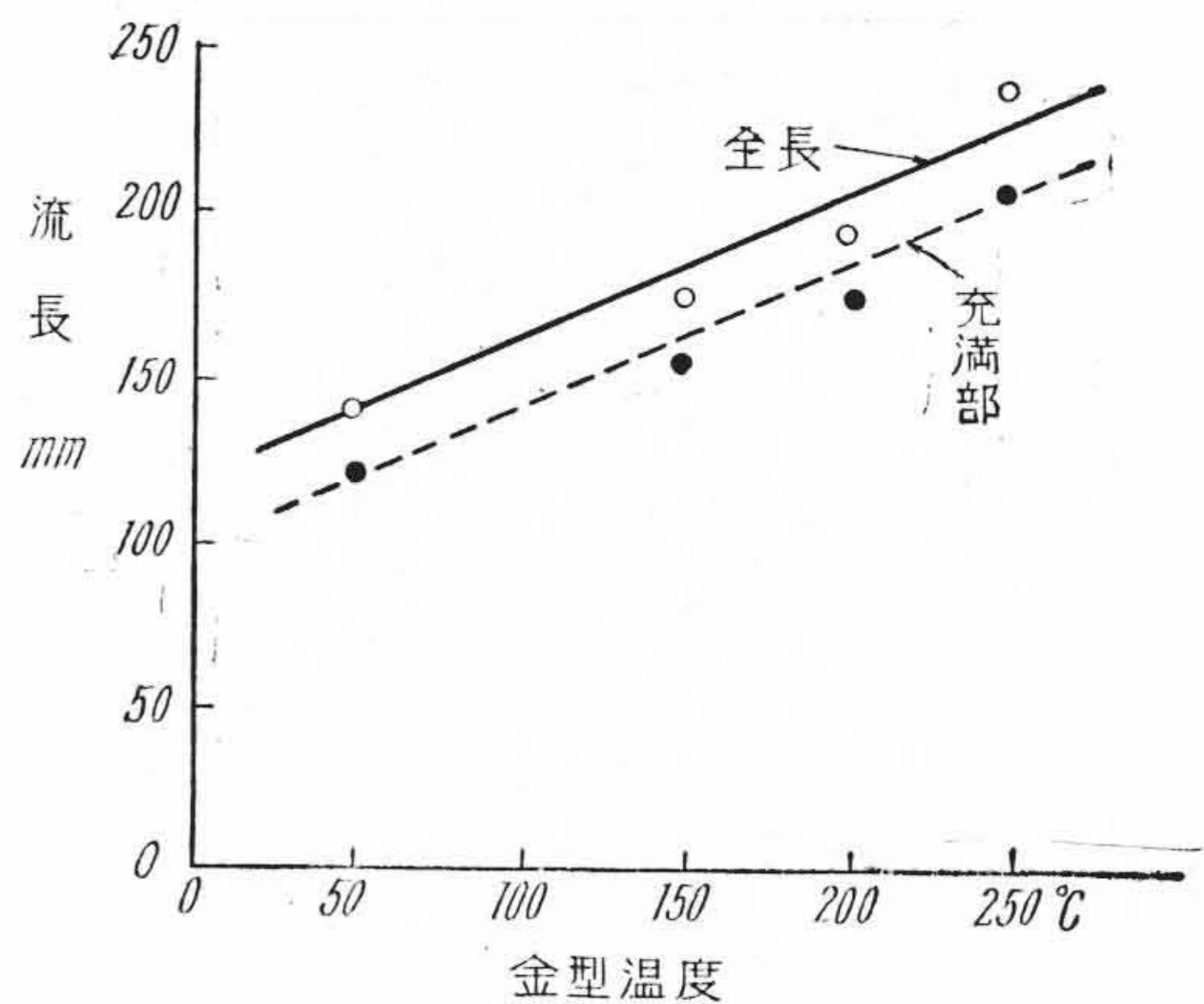
第 15 図は注入温度を 650~800° に変えて 200° の金

第 6 表 Al とシルミンの流動性
Table 6. Fluidity of Aluminum and Silumin

No.	材 料	全長 mm	充満部 mm
1	アルミニウム	39.5	27.0
2		37.0	27.0
3		45.0	31.5
1	シルミン	107.0	100.0
2		118.0	108.0



第 15 図 注 入 温 度 の 影 響
Fig. 15. Effect of Pouring Temp. on Fluidity



第 16 図 金 型 温 度 の 影 響
Fig. 16. Effect of Mould Temp. on Fluidity

型に注入した結果を示し、第 16 図は注入温度を 700° に一定して金型温度を 50~250° に変えた結果を示す。後者の方が概して流長が大きいのは後者はルツボ内の熔湯のレベルが高かつたことによる。流動性に対する注入及び金型の温度の関係はいつでも直線的となり文献⁽⁸⁾に見るところと同様である。この場合、注入温度は 100 mm/100° の場合で、金型温度は 42.5 mm/100° の割合で流長を増し、両者の比をとると $100/42.5=2.36$ となつて、流動性に対する注入温度の影響は金型温度の影響よりも 2.36 倍大きいことがわかる。柳原氏⁽⁸⁾が Al の流動性を実験した結果によると、注入温度に対して 30 mm/100°、金型温度に対して 12.7 mm/100° の割合で流長が増しておるが、両者の比をとると $30/12.7=2.36$ となり、偶然に本実験結果と一致しておる。

(c) 繰返溶解の影響

毎回の溶解材料に新しいシルミン地金を 20~30% づ

つ補給して、熔剤を用いずに繰返熔解を行い、注入温度を 700° に、金型温度を常温に一定して実験した。第 17 図がその結果で、熔解回数を増せば流動性がやゝ劣化し最初の 2~3 回目の劣化が大きい。このことは沢村、森田氏⁹⁾により Al の繰返熔解でもみとめられている。

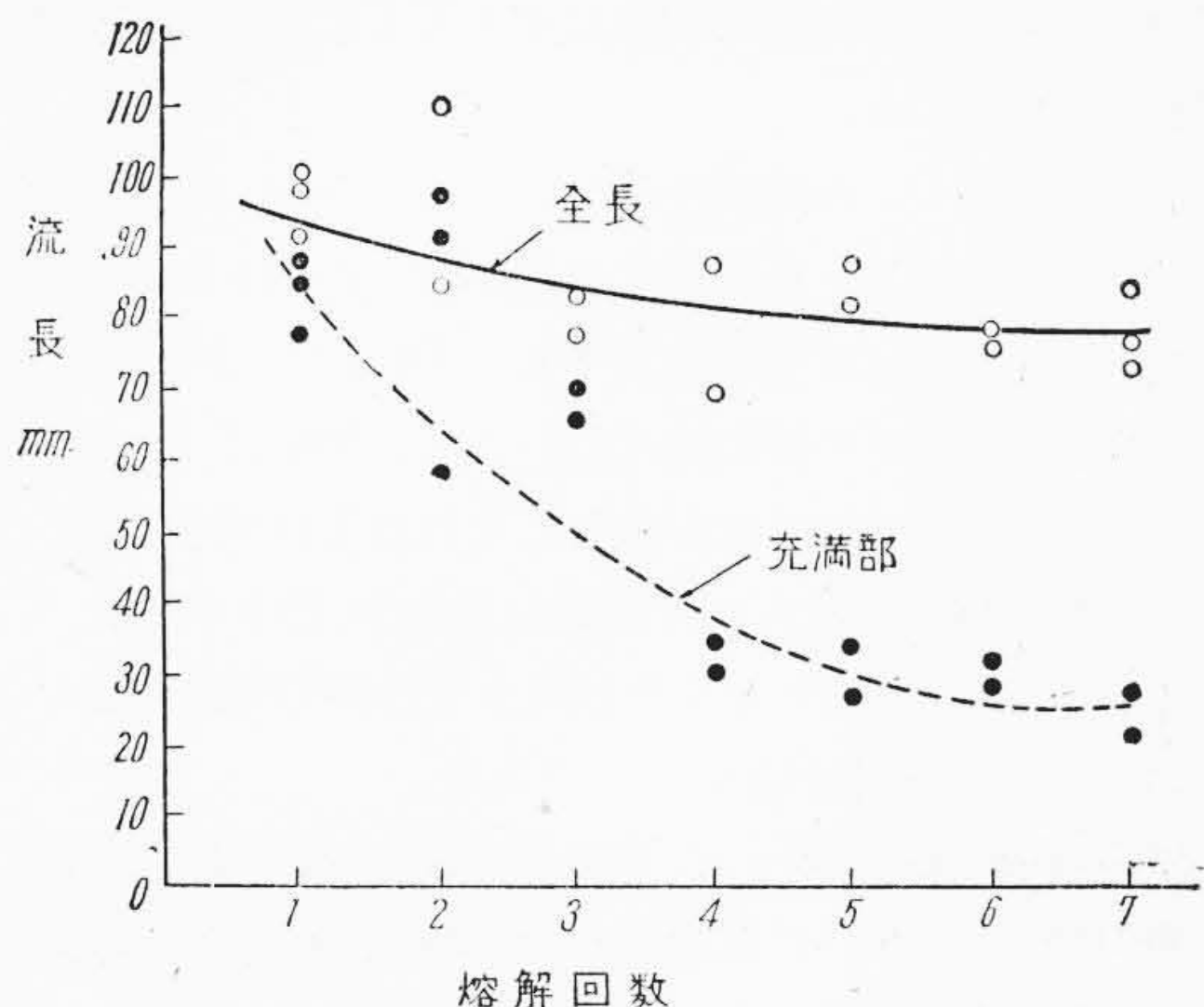
(2) 本実験

以上の予備実験で実験装置及び操作の確実性をたしかめ得たので下記の本実験を行つた。

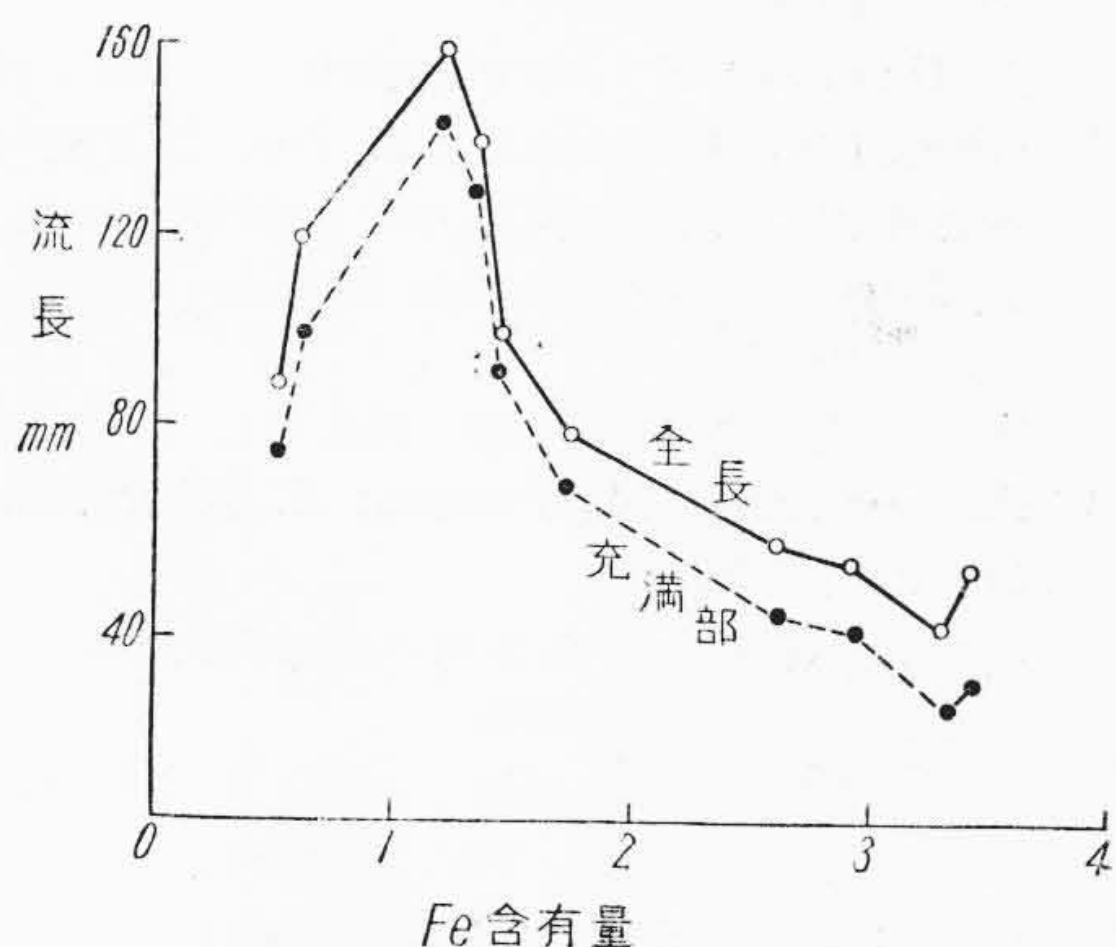
(a) シルミンの流動性に及ぼす Fe 及び Zn の影響

最高加熱温度を 800° 、注入温度を 700° 、金型温度を常温、に一定にして実験した。

第 18 図に Fe の影響を示す。シルミンに Fe が入ると最初の間は流動性が改良せられ、Fe 1~2% で流長が最大になり、それ以上は劣化する。シルミンの状態図⁽¹⁰⁾には Fe 1~2% に共晶点がありそれ以上 Fe が増すと液相線が急激に上昇することから、注入温度を一定にすれば Fe の増加とともに流動性が共晶点までは改良せられ、共晶点で最大となり、それ以上は劣化することが明



第 17 図 繰返熔解の影響
Fig. 17. Effect of Repeated Melting



第 18 図 流動性に及ぼす Fe の影響
Fig. 18. Effect of Iron on Fluidity

かに知られるのである。

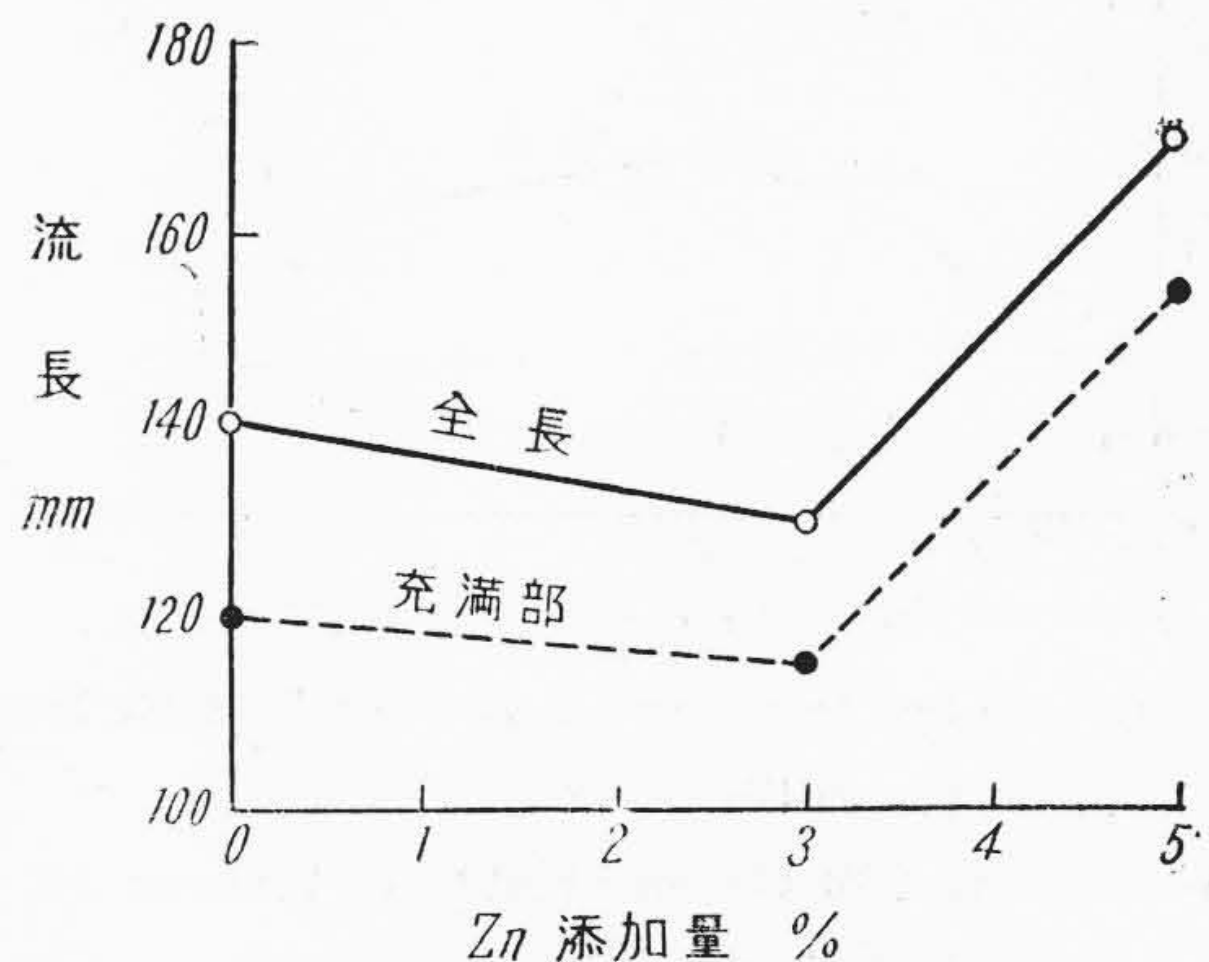
第 19 図は Zn の影響を示す。Zn は 5% 以上になると流動性を改良するが、Zn 3~4% 以下ではほとんど影響がない。

(b) Fe 1% 以上を含有する不純シルミンの流動性に及ぼす Mn, Cr, Cu の影響

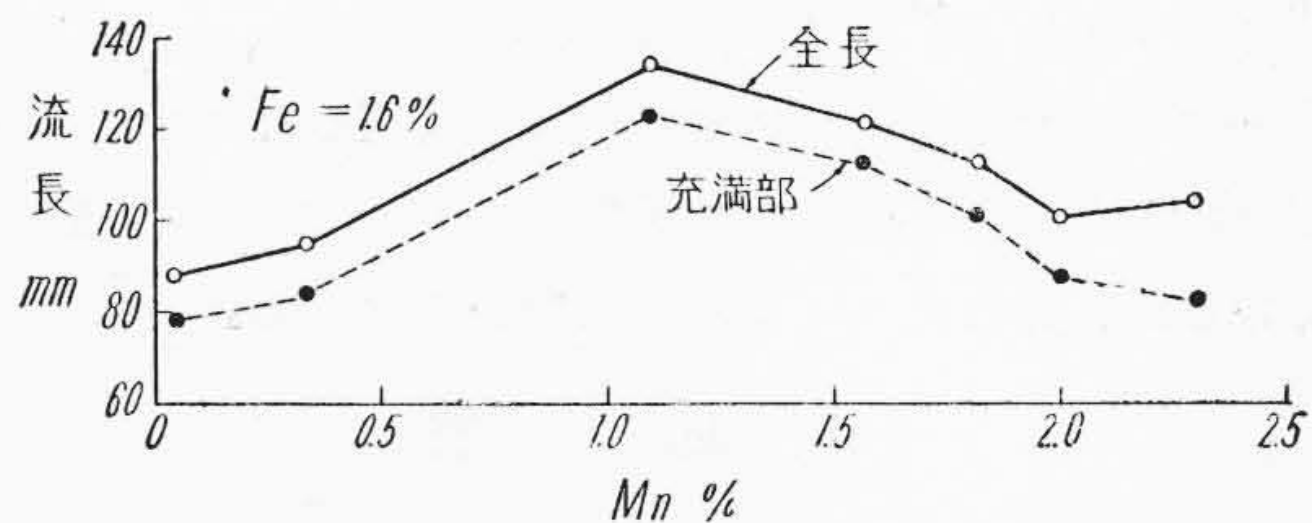
前述のようにシルミンに Fe が 1% 以上入ると機械的性質及び流動性が悪くなる。機械的性質にたいする Fe の有害作用を防止するのに、Mn, Cr 及び Cu を添加することが非常に有効である⁽¹¹⁾が、この場合に流動性もまたこれらの元素によつて Fe による劣化から回復することができれば好都合である。よつてこれらの影響をしらべるために注入温度を 700° に、金型温度を常温に一定して実験を行つた。

第 20 図及び第 21 図に Mn の影響を示す。ある程度の Mn 量は流動性を改良し、Fe 1.6% を含有するものは Mn 1% 前後で、Fe 1.9% のものは Mn 1.3% 前後で、その流長が最大になる。すなわち流動性が最大になるための Mn 量は Fe 含有量の多いものほど多量を必要とし、その量は大体 Fe 量の 70% である。

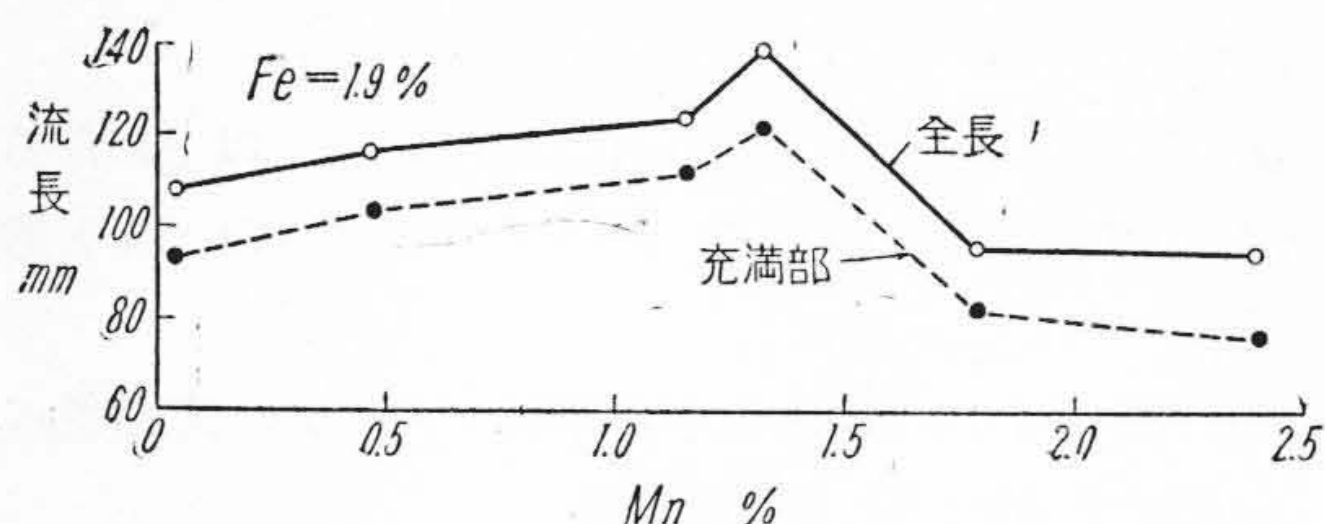
第 22 図は Fe 4% を含有する不純シルミンに対する Cr の影響を示す。測定値がかなりばらついておるが、か



第 19 図 流動性に及ぼす Zn の影響
Fig. 19. Effect of Zn on Fluidity

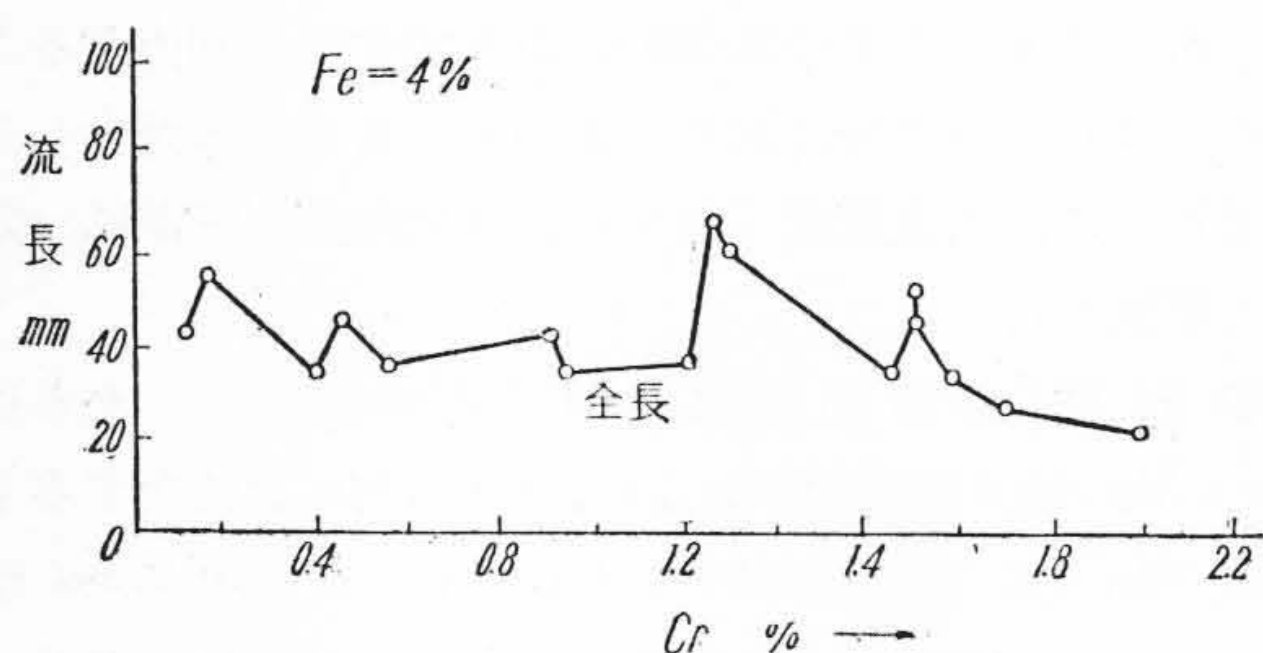


第 20 図 Fe 1.6% を含有するシルミンの流動性に及ぼす Mn の影響
Fig. 20. Effect of Mn on Fluidity of Silumin Containing 1.6% of Fe



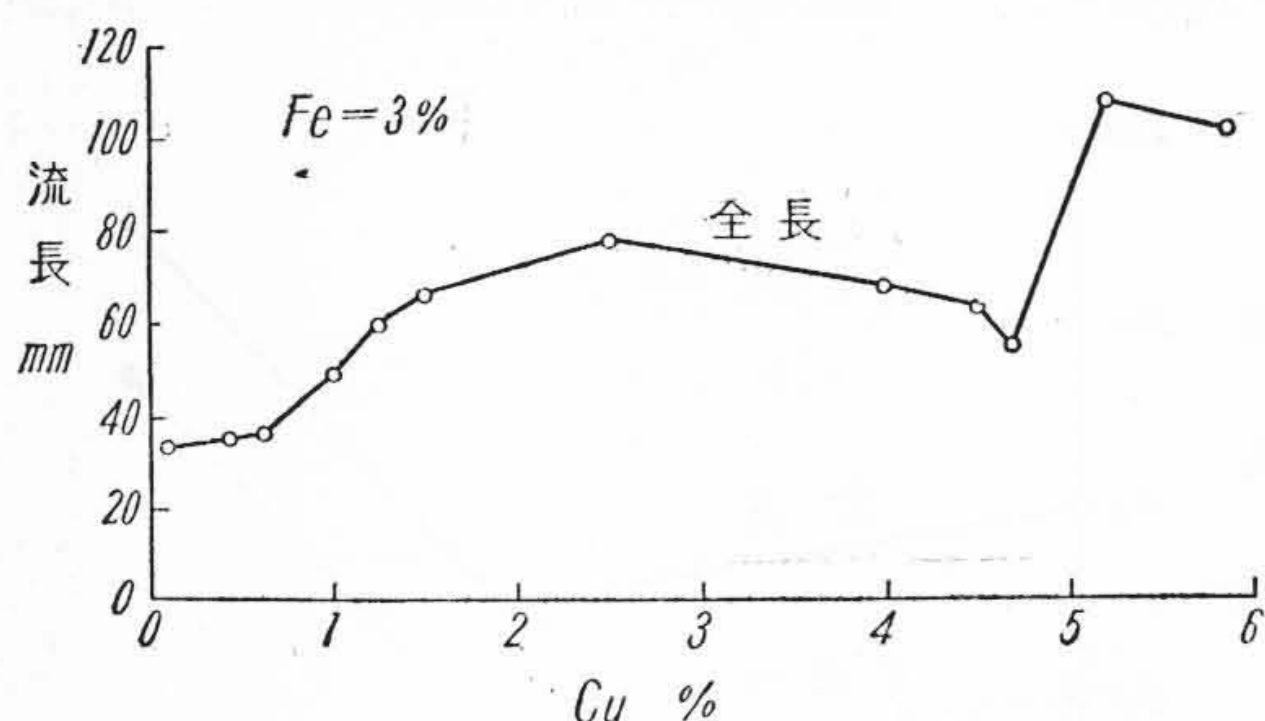
第 21 図 Fe 1.9% を含有するシルミンの流動性に及ぼす Mn の影響

Fig. 21. Effect of Mn on Fluidity of Silumin Containing 1.9% Fe



第 22 図 Fe 4% を含有するシルミンの流動性に及ぼす Cr の影響

Fig. 22. Effect of Cr on Fluidity of Silumin Containing 4% Fe



第 23 図 Fe 3% を含有するシルミンの流動性に及ぼす Cu の影響

Fig. 23. Effect of Cu on Fluidity of Silumin 3% Containing 3% Fe

る Fe の多いものには Cr は流動性に効果がないようである。

第 23 図は Fe 3% を含有するシルミンにおける Cu の影響を示す。Cu は流動性を改良し、Cu 2.5% で流長が最大となり、それ以上は劣化して Cu 4.5% 位で最小となるが、さらに Cu を増すと再び改良する。

[VI] 結 言

以上の結果を総括すると次の通りである。

(1) シルミンダイカストに使用した Ni-Cr 鋼の金

型の網状亀裂はフェライト粒界に析出せる粒状炭化物にそうて生じておる。変態点以上に繰返加熱すれば大抵の鋼種は容易に亀裂を生ずる。変態点以下で繰返加熱する場合は大抵の鋼種は繰返回数 300 回位まででは亀裂を生じなかつたが、すでに亀裂を生じているものは容易に細かい亀裂が増加した。金型材料としては変態点及び焼戻温度がシルミンの注入温度よりもなるべく高いものが必要である。

(2) シルミンダイカストの鑄肌は金型温度が高いほど、また注入温度が低いほど良好になる。しかし実際の作業では金型温度に限度があるから、注入温度を可及的に低くすることが望ましい。

(3) シルミンに Fe が 1% 以上加わると抗張力及び伸びが非常に悪くなる。硬度は上り、衝撃値は低下する。Zn もまた 2% 以上加わると抗張力と伸びを低下する。硬度と衝撃値は Zn とともにやや増加する。Fe 1% 以上を含有するものは試験温度を上げて抗張力の低下及び伸びの増加が少い。しかし Zn 1% 以上を添加したものは純シルミンと同様に試験温度とともに抗張力が低下し伸びが増加する。

(4) シルミンの流動性にたいして、Fe は 1~2% まではこれを改良しそれ以上は劣化する。Zn は 3% 位までは影響なくそれ以上は改良する。Fe 1% 以上を含有する不純シルミンの流動性にたいして、Mn は Fe 含有量の 70% 位まではこれを改良しそれ以上は劣化する。Cu は 3% 位まではこれを改良しそれ以上は劣化して Cu 4.5% 位で最小となりそれ以上では再び改良する。Cr はほとんど効果がないようである。

本稿に御校閲を賜わつた菊田博士、並びに本研究に種々御援助をいたゞいた日立製作所戸塚工場の各位に御厚礼申し上げます。

参 考 文 献

- (1) Archer Pempf : Am. Inst. Min. Met. Eng. 73 581, (1926)
- (2) J. Dernauf : Z. Metallkunde, 20, 289, (1928)
- (3) 菅野友信 : ダイカスト, 2, No. 2, (昭 17)
- (4) 後藤正治 : “合金学”, 432, (1929)
- (5) J. Loing : “Non-ferrous Foundry Practice”, 272, (1940)
- (6) 南波、武谷 : 鑄物, 23, No. 11, 8, (1951)
- (7) A. Zeerleder, R. Irrmann : Z. Metallkunde, 26, 271, (1934)
- (8) 柳原 : “金属及合金熔湯の流動性について”, 日本金属学会刊, (1949)
- (9) 沢村、森田 : 日本金属学会誌, 6, 28, (1942)
- (10) 西村 : 鉄と鋼, 18, 847, (1932)
- (11) 伊藤 : 科研報告, 25, 363 (1949)