

- 5) W. KOCH, A. SCHRADER, A. KRISH and H. ROHDE: Stahl u. Eisen, 78 (1958), s. 1251~1262
- 6) K. BUNGARDT, G. LENARTZ und K. WETZLER; Arch. Eisenhüttenw., 30 (1959), 7s. 429~
- 7) 中川, 乙黒, 土屋: 鉄と鋼, 45 (1959), p. 1276
- 8) 中川, 乙黒: 鉄と鋼, 46 (1960), p. 377
- 9) D. K. BULLENS: Steel and its Heat Treatment, 4th ed., Vol. I, p. 336~395, (1939)

19-9 DL 耐熱鋼の性質におよぼす P 添加の影響について(その 2)*

(耐熱鋼の性質におよぼす P の影響に関する研究—II)

山中 直道**・日下 邦男***・外岡 耀***

Effect of P on Properties of 19-9DL Type Heat-Resisting Steel. (Part 2)

(Study on the effect of P on properties of heat-resisting steel—II)

Naomichi Yamanaka, Kunio Kusaka and Akira Tonooka.

Synopsis:

The effect of phosphorus on properties of 19-9DL type heat-resisting steels with or without addition of boron and rare earth elements was studied. The results obtained were as follows:

(1) The phosphorus increased the maximum hardness obtained by aging after water-quenching from 1150°C, and the addition of phosphorus more than 0.2% accelerated overaging at temperatures higher than 750°C.

(2) The phosphorus greatly improved the rupture strength at 650°C and 700°C, but the rupture elongation and impact value was decreased with increasing phosphorus content.

Small addition of rare earth elements improved the ductility of the 19-9DL type heat-resisting steel containing 0.15% P, and the stress-rupture values at 650°C or 700°C were equivalent to hot-cold-worked 19-9DL heat-resisting steel.

(3) Small addition of boron improved the rupture life and ductility of the 19-9DL type heat-resisting steel containing 0.15% P with or without addition of rare earth elements.

The new type heat-resisting steel invented by the authors contained 0.3% C, 19% Cr, 9% Ni, 1.5% W, 1.5% Mo, 0.5% Cb, 0.2% Ti, 0.15% P, 0.1% B and 0.3% rare earth elements, and the stress-rupture values at 700°C were higher than those of the LCN-155 Alloy.

I. 結 言

著者らは中級耐熱鋼の性能向上を目標として、耐熱鋼におよぼす P 添加の影響について実験を開始し、第 1 報(その 1)においては 18 Cr-12 Ni-2.5 Mo 系, 18 Cr-12 Ni-2 Mo-0.8 Cb 系, 18 Cr-12 Ni-2 Mo-0.8 Cb-0.7 V-0.2 N₂ 系などについて P 添加の影響について報告した。今回はこれに引きつづいて、中級耐熱鋼としてもつとも広く用いられている 19-9DL 耐熱鋼成分のものにおよぼす P 単独添加, および P, B 複合添加の影響について実験した結果を報告する。

周知のように 19-9DL 耐熱鋼は C 0.3%, Cr 19%, Ni 9%, W 1.3%, Mo 1.2%, Cb 0.4%, Ti 0.3% の標準成分のもので、650°C ~ 700°C にて 20% 内外の hot-cold-work を行なうと 650°C における 100h 破断強度が 35 kg/mm² に達するので、もつばら hot-cold work 状態で使用されるのであるが、大型鍛造品に均一な加工度を与えるには作業上非常な困難が伴うので、われわれは溶体化処理後焼戻し時効のみによつて hot-

* 昭和 34 年 4 月本会講演大会にて発表

** 特殊製鋼株式会社, 工博

*** 同 研究所

cold-work に匹敵するか、あるいはこれを凌駕するような性能をうることを目的としてP添加を行ないその影響を調査したものである。

前報においても述べたが、オーステナイト・ステンレス鋼にP添加を行なったものは、数年前の米国特許に、W. C. CLARKE らによるものが2件あり¹⁾²⁾、Ti, Cbで安定化した低炭素のものおよびMo, Cuをふくむ低炭素オーステナイト鋼である。またこのほかにMoまたはN₂をふくむCr-Niオーステナイト鋼にPを添加したもの³⁾もみられるが、19-9DL耐熱鋼のような化学成分のものにP添加を行なった実験報告は認められない。

II. 実験結果

Table 1は供試材化学成分を示したもので、いずれも35kV A 高周波誘導炉にて7kg鋼塊を溶製し、16φに圧延して使用した。Pの添加はFe-P合金(24%P)を用いて行なった。Table 1に示す成分のものでは、Pを多く含有せしめることによつてとくに鍛造性が害されるということばなかつた。rare earth elements添加はLan Cer Amp (La 30~35%, Ce 45~50%, Di 24%)を用いて行ない、1%の添加に対してCe+La分析値は0.2%内外であつた。B添加量の多い場合には、鍛造加熱時に共晶を生じて粒界の一部が溶融し、たとえばBが0.15%以上になると1180°Cで粒界に共晶を生ずるので最高加熱温度を1150°Cに制限する必要がある。最高加熱温度に注意すればBが0.2%以上含有される場合でも鍛造にとくに問題はなかつた。

(1) 時効による硬度ならびに組織変化

Fig. 1は19-9DL耐熱鋼成分のものにPを単独に添

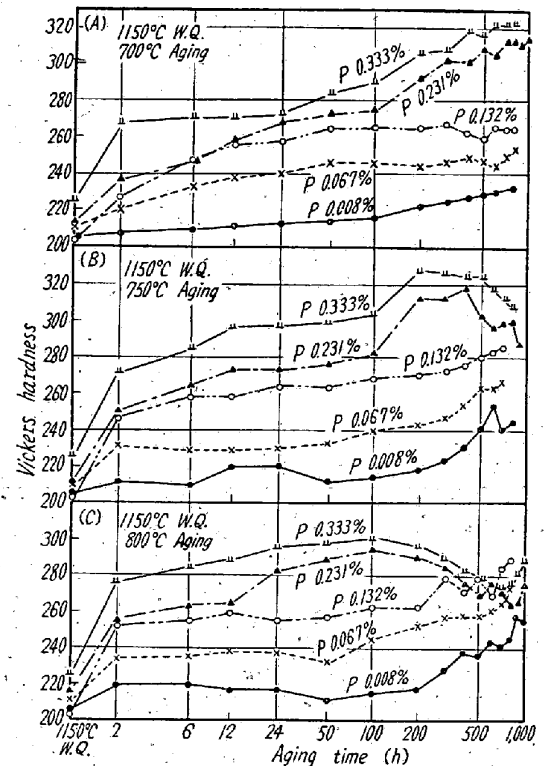


Fig. 1. Effect of P on the hardness of 19-9DL type heat-resisting steel, solution-treated 1 hour at 1150°C, water-quenched, and aged at 700, 750 and 800°C.

加したものより、小試片を採取して1150°C×1h永冷の溶体化処理後700, 750, 800°Cにて900hまで時効した場合の硬度曲線を示したものである。P添加を行なわないものは、時効による硬度上昇は非常に緩慢であるが、P添加量が多くなるにつれて時効硬化がいちじるしく促進されるようになり、到達硬度もいちじるしく高くなる。ただし、時効温度が750°C, 800°Cと高くなると、Pが0.2%以上のものは過時効を生ずるにいたる。

Table 1. Chemical composition of steels tested.

Steel No.	Chemical composition (%)												
	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	W	Mo	Cb	Ti	B	Ce+La
SHR-93	0.31	0.61	1.08	0.008	0.016	8.88	20.30	1.55	1.42	0.48	0.14		
-118	0.29	0.63	1.16	0.067	0.015	9.04	20.14	1.41	1.43	0.39	0.21		
-117	0.30	0.62	1.04	0.132	0.013	9.13	20.14	1.41	1.49	0.40	0.18		
-114	0.30	0.61	1.10	0.231	0.011	9.19	20.04	1.61	1.59	0.44	0.26		
-115	0.30	0.61	1.08	0.333	0.012	9.19	20.01	1.61	1.53	0.43	0.26		
-149	0.29	0.47	1.26	0.109	0.005	9.43	19.56	1.51	1.70	0.39	0.15		0.18
-168	0.34	0.60	1.25	0.150	0.007	10.00	20.23	1.54	1.54	0.50	0.18	0.017	0.20
-169	0.30	0.56	1.23	0.151	0.005	9.95	20.40	1.56	1.58	0.48	0.18	0.044	0.22
-170	0.32	0.51	1.22	0.149	0.007	10.05	20.18	1.55	1.56	0.50	0.19	0.070	0.40
-171	0.31	0.56	1.27	0.141	0.007	10.09	20.40	1.55	1.58	0.48	0.20	0.160	0.23
-172	0.30	0.69	1.22	0.144	0.018	9.98	20.01	1.52	1.62	0.49	0.25	0.017	
-173	0.31	0.71	1.22	0.157	0.018	9.79	20.06	1.58	1.71	0.49	0.20	0.054	
-175	0.33	0.79	1.20	0.165	0.021	9.74	19.93	1.52	1.71	0.50	0.19	0.210	
-160	0.28	0.59	1.14	0.118	0.002	10.06	20.33	1.48	1.58	0.47	0.20	0.180	0.25
-161	0.28	0.54	1.16	0.061	0.004	10.02	20.33	1.54	1.56	0.48	0.25	0.175	0.27

たとえばP 0.231% のものは、750°C 時効の場合には400 h で最高硬度に達し、800°C 時効の場合には100 h にて最高硬度に達し、それ以上の加熱時間によつて軟化を生ずる。

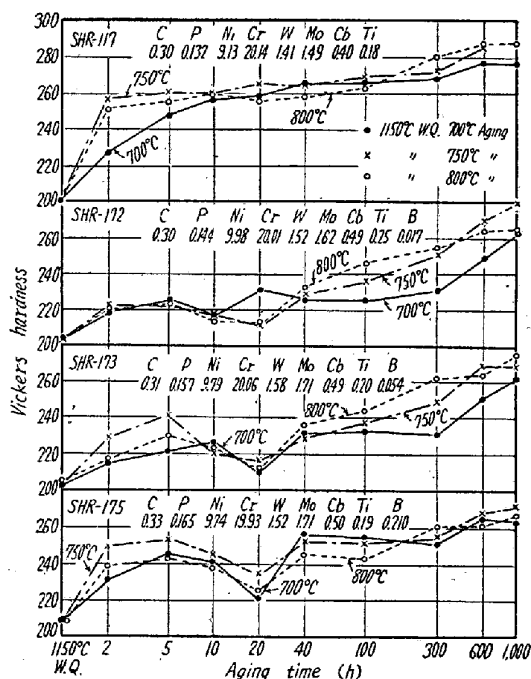


Fig. 2. Effect of P and B on the hardness of 19-9DL type heat-resisting steels. Solution-treated 1 hour at 1150°C, water-quenched, and aged at 700°C, 750°C and 800°C.

つぎに Fig. 2 は P を約 0.15% 含有する 19-9DL 耐熱鋼成分のものに B を添加した場合の時効硬度曲線を示したものである。P が 0.15% の場合には時効硬化はかなり促進されるが 800°C で 1000 h までの加熱で過時効を生ずることなく、この程度の P 含有量は耐熱鋼の性能向上に有効と考えられる。これに B を添加すると P 単独添加の場合よりも、硬度上昇の程度が少なくなり、また図から明らかなように、時効時間 20 h 前後で硬度曲線に谷を生じている。この原因については明らかでないが、P, B 複合添加の場合でも rare earth elements の添加を行なうと、Fig. 3 に示すように、この硬度曲線の谷が消失している。Fig. 3 の SHR-149 は 0.109% P 0.18% Ce+La 含有の場合にして、Ce+La 添加によつて時効による硬度上昇が少なくなる傾向が認められる。

つぎに Photo. 1. 1A~1F は小試片を 1150°C 水冷後 700°C にて 1000 h 時効したものの組織を示したものである。1A は P 添加を行なわないものの組織で、700°C 1000 h 時効によつて粒界ならびに粒内に炭化物の析出を

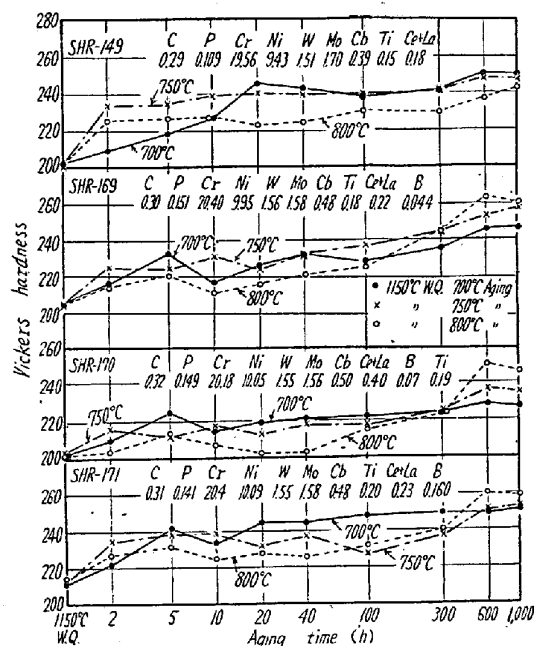


Fig. 3. Effect of P and B on the hardness of 19-9DL type heat-resisting steels. Solution-treated 1 hour at 1150°C, water-quenched, and aged at 700°C, 750°C and 800°C.

Table 2. Change of the magnetic permeability by aging at 750°C after solution treatment.

Steel No.	1150°C W.Q.	Aging after solution treatment			
		750°C × 2 h	750°C × 6 h	750°C × 12 h	750°C × 24 h
SHR-93	1.002	1.002	1.002	1.002	1.002
-117	1.002	1.002	1.002	1.002	1.002
-114	1.595	1.003	1.002	1.002	1.002
-115	1.822	1.003	1.002	1.002	1.002
-168	1.017	1.008	1.003	1.002	1.002
-169	1.054	1.018	1.015	1.010	1.002
-170	1.008	1.004	1.002	1.002	1.002
-171	1.004	1.003	1.002	1.002	1.002
-172	1.557	1.100	1.100	1.039	1.003
-173	1.314	1.074	1.070	1.050	1.003
-175	1.006	1.004	1.002	1.002	1.002

生じているが、P 単独添加を行なうと析出炭化物量がいちじるしく増加する。P 含有量が多くなると Table 2 から明らかなように、1150°C の溶体化処理状態にて δ フェライトを増加する傾向にあり、導磁率は SHR-115 にあつては 1.828 と増加している。750°C に加熱するとこの δ フェライトはシグマ相に変化するため導磁率は低下する。1C は δ フェライトの存在した部分にシグマ相および炭化物集合体が認められる。Lan Cer Amp および B を添加すると 1D, 1E に示すように粒界に析出する炭化物が減少し、とくに B が多くなると粒内に析出する炭化物も少なくなる傾向がみとめられる。

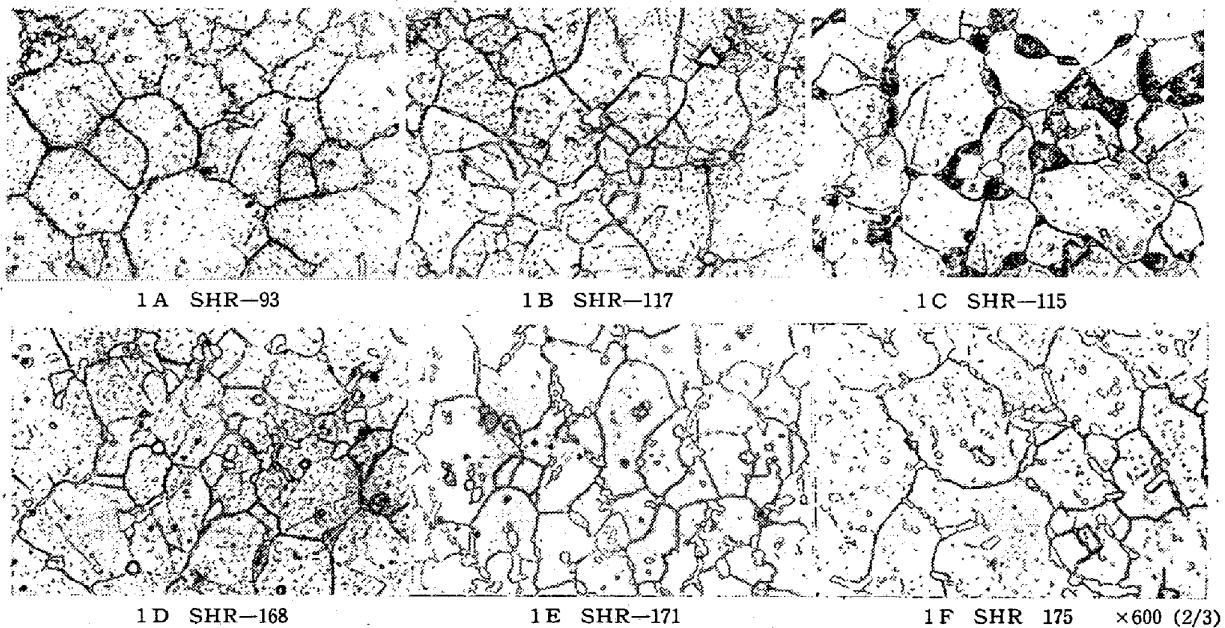


Photo. 1. Microstructures solution-treated at 1150°C, aged 1000h at 700°C.
Etched with a mixed acid in glycerol.

(2) Rupture 試験結果

1150°C × 1.5h 溶体化処理, 700°C × 30h 時効後 9φ × 50 試片を用いて 650°C, 700°C および 730°C における破断試験を実施した。

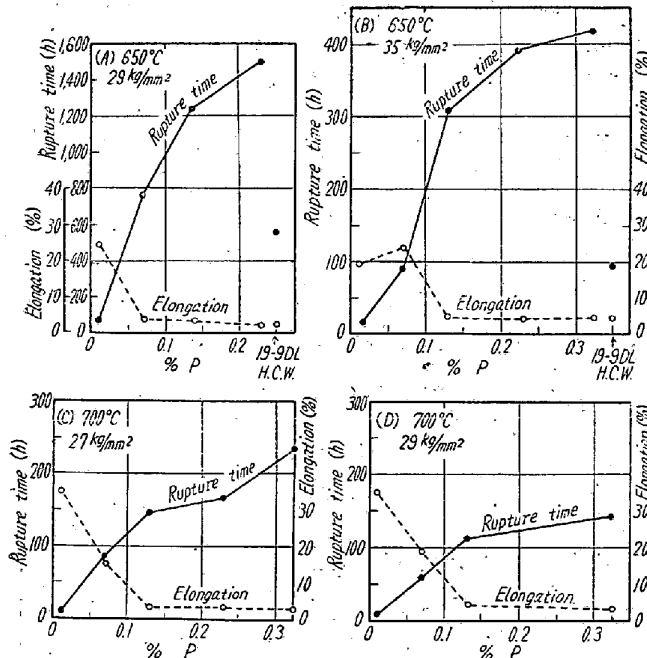


Fig. 4. Effect of P on the rupture strength of 19-9DL type heat-resisting steel.

Solution-treated 1.5 hours at 1150°C, water-quenched, and aged 30 hours at 700°C.

a) P 単独添加の影響

Fig. 4 (A) は 650°C, 29 kg/mm² の破断試験結果であつて, P 添加を行なわないものは 63h にて破断す

るが, Pが多くなるにつれて破断時間はいちじるしく長くなり, たとえば P0.13% のものは破断時間は 1240h に向上するが伸びは 3% に低下した. 図 (B) は 650°C, 35 kg/mm² の破断試験結果であり, 同様に P の効果が顕著である. つぎに図 (C), (D) は 700°C における破断試験結果を示したものである. hot-cold-work した 19-9DL 耐熱鋼の 650°C および 700°C における 100h 破断応力はそれぞれ 34 kg/mm², 25 kg/mm² であるから P 0.132% を添加し溶体化処理後時効処理したものの方が, はるかに高性能を示すことがわかる. 以上の結果より P 単独添加の場合には破断時間の向上する反面, 伸びが低下するので実用合金としては P を 0.075~0.12% に限定する必要がある. なおオーステナイト系耐熱鋼に P を添加するとつねに高温強度が向上するというとはいえないのであつて, たとえば Ti, Al などを含むようなある種のオーステナイト耐熱鋼にあつては却つて高温強度が低下するのであり, このことについては後日報告する.

b) Rare earth elements 添加の影響

19-9DL 耐熱鋼成分のものに P を単独に添加した場合には伸びが低下するので, この点を改善するために Lan Cer Amp を 1% 添加して応力破断試験を行なつた. その結果は Fig. 5(A)(B)(C) に示すとおりである. まず (A) は 650°C, 32 kg/mm² の場合の破断試験の結果を示したもので, 19-9DL 耐熱鋼成分のものは破断時間 20h, 伸び 27% を示し, これに P を 0.132% 添加すると破断時間は 700h に向上するが伸びが 3%

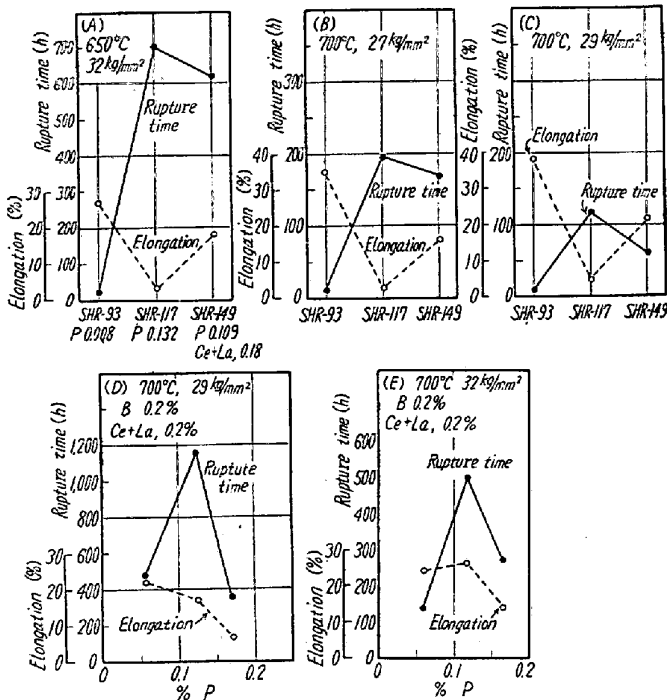


Fig. 5. Effect of P and rare earth elements on the rupture strength of 19-9DL type heat-resisting steels with or without B addition. Solution-treated 1.5 hours at 1150°C, water-quenched, and aged 30 hours at 700°C.

に低下する。しかるに Lan Cer Amp を 1% 添加して、P 0.109, Ce+La 0.18% を含有するものは、破断時間は 620 時間となるが伸びは 18% に向上した。(B), (C) は 700°C, 27 kg/mm² および 29 kg/mm² の試験結果であつて、この場合にも Lan Cer Amp を添加すると P 単独添加の場合よりは、破断時間はやや短くなるが伸びがいちじるしく改善されることが明らかとなつた。

c) P, B 複合添加の影響

以上の結果より P 単独添加の場合には、伸びが低下する傾向があるので、伸びの改善を目的として 0.15% P を含有する 19-9DL 耐熱鋼成分のものに Lan Cer Amp を添加した場合と、添加しない場合とについて、B を 0.21% まで含有せしめてその影響をしらべた。Fig. 6 はその結果を示したものである。すなわち図(A)(C),(E) は Lan Cer Amp 添加を行なわない場合である。破断後の伸びは Lan Cer Amp 添加の場合が非常に良好であるが、B のみを添加した場合でも P 単独添加の場合よりは、伸びはかなり大となる傾向がある。破断時間は両者とも、B の添加が多くなるにつれていちじるしく向上し、B が 0.1% のものでは 730°C, 26.6

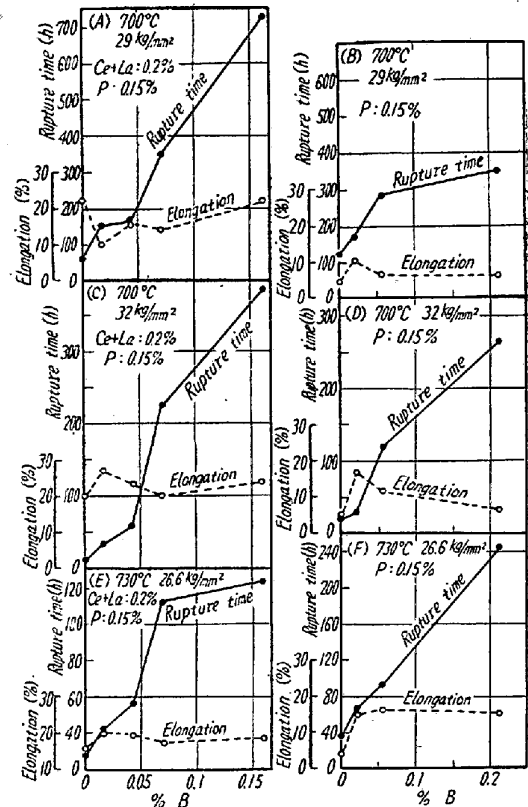


Fig. 6. Effect of B on the rupture strength of 19-9DL type heat-resisting steels containing 0.15% P with or without Lan-Cer-Amp addition. Solution-treated 1.5 hours at 1150°C, water-quenched, and aged 30 hours at 700°C.

kg/mm² の破断時間が 100 h 以上となり、Fig. 7(B) に示すように LCN-155 耐熱鋼よりも、はるかにすぐれた性能を有するようになる。

耐熱鋼に B を添加して、破断寿命ならびに靱性を向上させることはすでに幾多の報告があるが⁽⁴⁾⁻⁽⁷⁾、P と B とを複合添加せしめて耐熱鋼の性能を飛躍的に向上せしめたのは、著者らの実験がはじめてである⁽⁸⁾。

つぎに Fig. 5 (D), (E) は B 0.2%, Ce+La 0.2% を含有する 19-9DL 耐熱鋼に P を添加した場合の影響を示したもので、700°C, 29 kg/mm² および 32

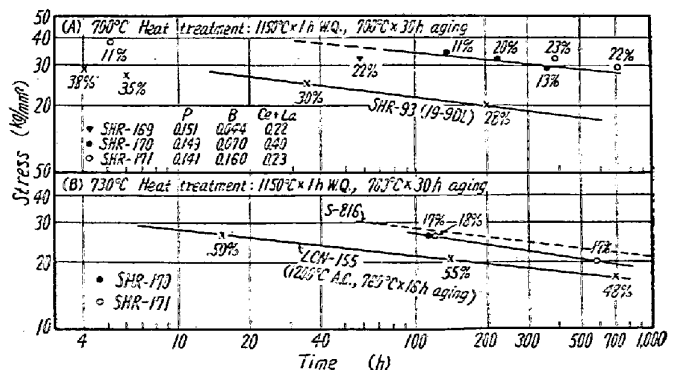


Fig. 7. Stress-rupture curves.

Table 3. (A) Chemical composition of steels tested with B-addition alone.

Steel No.	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	W	Mo	Cb	Ti	V	B
SHR-141	0.32	0.69	0.69	0.009	0.007	9.10	21.18	1.12	1.39	0.28	0.20	0.35	—
-112	0.27	0.72	1.27	0.012	0.005	8.82	20.54	1.69	1.61	0.50	0.14	0.38	0.020
-142	0.30	0.66	0.67	0.010	0.008	8.95	20.69	1.34	1.50	0.36	0.25	0.38	0.048
-143	0.29	0.68	1.25	0.010	0.008	8.93	20.98	1.64	1.38	0.34	0.42	0.40	0.102
-144	0.30	0.68	1.34	0.009	0.008	9.05	20.58	1.52	1.48	0.38	0.26	0.44	0.152

Table 3. (B) Results of rupture test.

Steel No.	650°C, 29kg/mm ²		700°C, 25 kg/mm ²		700°C, 27 kg/mm ²	
	Rupture time	Elongation	Rupture time	Elongation	Rupture time	Elongation
SHR-141	77.2 h	22.0%	13.0 h	30.5	4.2 h	40.0
-112	230.0	33.0	88.5	38.4	49.5	47.0
-142	26.3	39.0	7.2	42.0	5.0	25.0
-143	65.5	27.4	21.3	50.0	5.5	41.0
-144	236.2	33.4	67.3	26.0	27.0	37.5

28 kg/mm² 内外であるから、この新耐熱鋼は使用温度が 750°C 以下においては LCN-155 合金よりも良好なる性能を有するといえる。

さて、このように P, B 複合添加は破断寿命の向上

kg/mm² の破断試験の結果では、P 0.118% の場合がもつともすぐれた性能を示しており、これより P が多くなると却つて性能低下をきたすことが明らかとなった。Fig. 7 (A) は 700°C における応力破断曲線を示したもので 19-9DL 耐熱鋼に 0.15% P, B 0.07~0.16%, Ce+La 0.2% を添加したものは、700°C, 100h 破断強度が 34 kg/mm² に達し、破断後の伸びも大であり、非常にすぐれた性能を有することがわかる。hot-cold-work した 19-9DL 耐熱鋼の 700°C, 100h 破断応力は 25 kg/mm² 内外であり、また LCN-155 は

に顕著な影響をあたえるが、P を添加せずに B だけの添加の影響をみるために、著者らは Table 3(A) に示すような化学成分の供試材によつて試験を行なつた。この場合は 0.35% V を添加しているが B 添加の影響を知ることができる。

Table 3(B) は 650°C および 700°C における破断試験の結果である。すなわち B は 0.02% 添加で破断時間伸びともに向上するが、B が 0.02% より多くなると破断時間は却つて短くなり、B が 0.15% になるとふたたび破断時間が長くなる。このように B 単独添加の場合

に破断寿命の向上の可能性はあるが、その程度は P, B 複合添加の場合に比較するといちじるしく小さい。

(3) 常温および高温機械的性質

1150°C × 1h 水冷後 700°C × 30h 時効を行なつて、常温および 750°C にて

Table 4. Mechanical properties:

Heat treatment, 1150°C × 1h W.Q., 700°C × 30h aging.

Steel No.	Testing temp. (°C)	Yield strength (0.2%) kg/mm ²	Tensile strength kg/mm ²	Elongation %	Reduction of area %	Charpy impact value kg-m/mm ²	Brinell hardness
SHR-176	Room temp. 750°C	51.4 27.2	83.6 33.2	34.0 34.4	35.8 59.2	4.1 5.3	241
SHR-177	Room temp. 750°C	46.0 29.6	79.0 40.0	32.3 28.0	35.8 52.6	4.1 5.0	229
SHR-114	Room temp.	64.0	95.8	24.5	43.6	4.8	269
SHR-115	Room temp.	68.0	100.2	27.6	37.8	4.1	293

Steel No.	C	Si	Mn	P	S	Ni
SHR-176	0.34	0.63	1.04	0.130	0.008	9.30
SHR-177	0.31	0.69	1.28	0.110	0.006	9.71
Cr	W	Mo	Cb	Ti	B	Ce+La
19.88	0.77	0.84	0.24	0.18	0.092	0.25
20.00	1.50	1.69	0.41	0.34	0.072	0.26

機械的性質の測定を行なつた結果を Table 4 に示す。

P 0.231% および 0.333% を含有する SHR-114, SHR-115 は高温破断試験においては伸びがいちじるしく低下するが、常温引張り試験においては 20% 以上の伸率を示す。SHR-176 は SHR-177 の W, Mo, Cb を半減したものであり、750°C における高温抗張力は SHR-177 にくらべると若干低目となつてゐるが、700°C

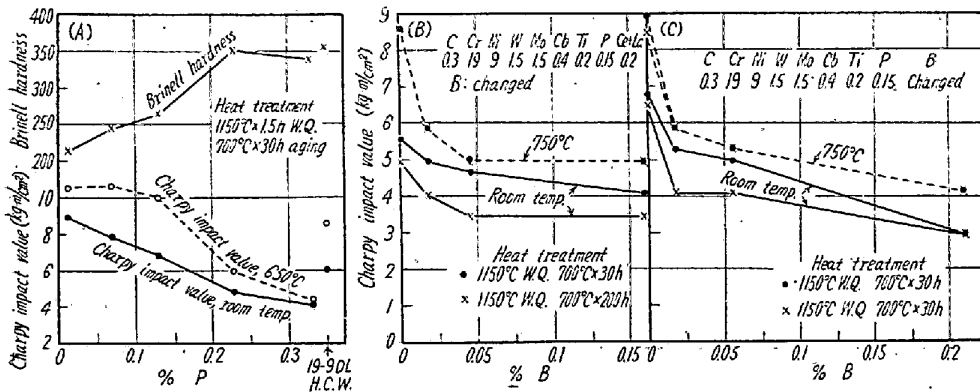


Fig. 8. Effect of P and B on the Charpy impact value of 19-9DL type heat-resisting steels.

29 kg/mm² の応力破断試験の結果では破断時間 94 h 伸び 22% を示し, SHR-177 の 201 h, 20% にはおよばないが, かなり優秀な成績を示した。

つぎに Fig. 8(A)は 19-9DL 耐熱鋼に P 単独添加の場合について, 1150°C × 1.5 h 水冷後 700°C にて 30 h 焼戻し時効したのち, 常温および 650°C の高温シャルピー試験を行なった結果を示したもので, P の多くなるにつれて常温衝撃値は低下することがわかる。650°C 高温においては衝撃値はかなり向上するが, P が 0.15% 以上になると急激に低下する。hot-cold-work した 19-9DL 耐熱鋼の常温および 650°C におけるシャルピー衝撃値はそれぞれ 6 および 8.5 kg/mm² であるから, P 添加量 0.15% の場合に相当する。Fig. 8 (B) は P 0.15%, Ce+La 0.2% 含有するものに B を添加した場合の衝撃値を示したもので, B 添加量が多くなるにつれて常温および高温衝撃値は若干低下の傾向を示す。Fig. 8 (C) は Ce+La を添加しない場合の結果であつて, (B)と同様に B の多くなるにつれて衝撃値の低下が認められる。

(4) 時効による導磁率, 電気抵抗の変化

Fig. 9 は 19-9DL 耐熱鋼成分に P を 0.333% まで添加を行なったものを, 1150°C 水冷の溶体化処理後 750°C に 1000 h まで焼戻し時効したときの硬度, 電気固有抵抗, 導磁率の変化を示したものである。導磁率の測定は ASTM No. 3 法により磁場の強さ 200 エルステッドにて行なった。測定結果の一部は Table 2 に示すが, P 添加を行なわない SHR-93 および P 0.067% の SHR-117 は溶体化処理状態にては, 導磁率は 1.002 を示し完全オーステナイトであるが, P が多くなると δ フェライトが増加して P 0.333% では導磁率は 1.822 に増大する。

750°C にて時効するとフェライトはシグマ相に変わるため導磁率は急速に低下し 750°C × 6 h にて 1.002 と

なる。その後 1000 h までの時効によつても導磁率の増加は認められない。もし P が化合物 Fe₃P として析出することがあるとすれば, この Fe₃P は強磁性体であるため導磁率の増加が認められるはずであるが, 実験結果によれば導磁率の増加がないため Fe₃P の析出はないものと考えられる。

また電気固有抵抗の測定結

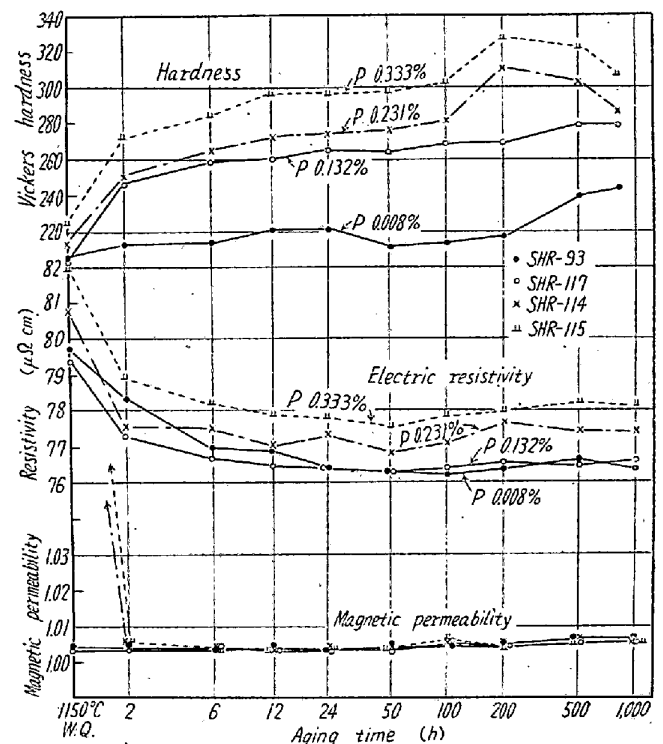


Fig. 9. Change of the hardness electric resistivity and magnetic permeability of 19-9DL type heat-resisting steels by aging at 750°C after solution-treatment from 1150°C.

果は, 1150°C 溶体化処理状態では P の高いものほど大きい値を示すが, これは P がオーステナイト中に侵入型に固溶するからである。750°C 時効によつて析出を生ずるために固有抵抗は減少するが, 図から明らかなように, 時効後においても P の高いものほど固有抵抗が大きく, P の低いものと高いものとの間に固有抵抗の減少値の差が認められなかつた。もし時効によつて P の化合物が析出するとすれば, 炭化物のみが析出する場合よりも当然固有抵抗の減少が大きいはずであるが, 実験結果によれば, このような現象は認められないから, P が化合物として析出することはないものと考えてよい。したがつて

Pによって析出硬化が促進されるのは、Pが侵入型に固溶してオーステナイト格子の strain energyを増加するために、オーステナイト結晶粒内に炭化物の核生成を促進して粒内に炭化物の析出が多くなるためである⁹⁾と考えられる。したがって析出炭化物は $M_{23}C_6$ 型のクロム炭化物が主体であるため、800°Cに長時間加熱すれば過時効を生ずるようになるのであつて、この点からP添加は800°C以上の温度で使用する超耐熱鋼には有効ではない。

III. 結 言

溶体化処理後焼戻時効処理のみによつて、hot-cold-workした19-9DL耐熱鋼の性能をうることを目的として、P単独添加、P, rare earth 複合添加、P・B・rare earth 複合添加の影響を主として応力破断試験によつて調査したが、得られた結果を要約すればつぎのとおりである。

(1) 19-9DL耐熱鋼に相当する化学成分のものにP添加を行なつた場合には、Pの多くなるにつれて650°C 700°Cの応力破断強度はいちじるしく向上するが伸びが低下するので、実用上はPを0.075~0.12%に限定する必要がある。

(2) P 0.15%を含有する19-9DL耐熱鋼にCe+La添加を行なうと、破断寿命はP単独添加の場合よりも若干短くなるが伸びが大となり、P 0.10~0.15%, Ce+La, 0.2~0.5%の添加が適当である。この場合の性能は、hot-cold-workした19-9DL耐熱鋼よりも、やや良好である。

(3) 19-9DL耐熱鋼に0.15% Pを添加し、さらにこれにBを添加させるとBの多くなるにつれて破断時間を顕著に向上し、また伸びをも向上せしめる。また0.15% Pを含有するものにCe+Laを添加し、これにBを加えると破断時間、伸びともに非常に良好なる性能を有し、700°C, 100h 破断強度が34 kg/mm²達するもので、LCN-155合金よりもすぐれていることが明らか

かとなつた。したがって実用耐熱鋼としては19-9DL耐熱鋼成分にP 0.10~0.18%, Ce+La 0.2~0.5%, B 0.07~0.16%の複合添加が必要で、この新合金鋼は750°C以下の温度で非常に優秀な性能を示す。

(4) 電気固有抵抗、導磁率試験によると時効によつてP化合物の析出はないものと考えられる。Pが侵入型にオーステナイト中に固溶してオーステナイト格子の strain energyを増大し、これによつてオーステナイト粒内にクロム炭化物の析出を促進するために時効硬化がいちじるしくなるものと考えられる。したがって時効温度が800°C以上になると過時効を生ずるにいたる。

(5) なおオーステナイト系耐熱鋼にPを添加するとつねに高温強度が向上するということはいえないのであつて、P添加によつてその高温強度が向上できるか否かは、主としてW, Mo, V, Nb, Ti, Al, Cu, Coなどの合金元素のうち、いかなる元素をいかなる割合で添加せしめるかということと、C%をいかなる範囲に限定するかということできまるのである。たとえばTi, Alなどを含むようなある種の耐熱鋼にあつてはP添加によつて却つて高温破断強度が低下するのであり、このことについては後日報告する。(昭和35年6月寄稿)

文 献

- 1) U. S. Patent: 2,528,637 (1950)
- 2) U. S. Patent: 2,528,638 (1950)
- 3) U. S. Patent: 2,686,116 (1954)
- 4) J. T. BROWN: Metal Progress, Nov. (1958), p. 83~87
- 5) " : " Aug. (1958), p. 87~90
- 6) W. J. PENNINGTON: Metal Progress, March, (1958), p. 82~86
- 7) D. L. LOVELESS, F. K. BLOOM: Iron Age, 20 (1957), June p. 95~97
- 8) 特許出願公告, 昭 35—753 特許 No. 262386
- 9) A. G. ALLTEN: J.G.Y. Chow, A. Simon. Trans. Amer. Soc. Metals. 46 (1954), p. 948~972

正 誤 表 鉄と鋼, 46 (1960) No. 11

誤

正

P. 1460

下より 14 行目

ように粒内のシグマ相

ように粒界のシグマ相