ら省いた、なお、経費換算には酸素瓶 1 本の使用可能な酸素量を 4m^3 とし、その時の酸素単価を $30\text{y}/\text{m}^3$ 1 本 120y とし、槍用鋼管を時価 $90,000\text{ y/t}$ すなわち 40 y/m とした。本実験のうち a2 及び b は点火不良で槍のみ燃えて成績甚だ不良なので、平均値をとるのに加え得ない。この表から鋼塊断面 1m^2 を切断に要する消耗品費用は時価約 $14,000\text{y}$ 位かゝる。

7. 結 論

短日月にまとめてみるため、充分に統計的確からしさを求めることができなかったのは、初めから予見した通りだが、予期以上の成績を挙げ得てこゝに報告できることを光榮とする。以上述べたことより次の結論を得た。

1. 本研究はどんな肉厚鋼塊でも酸素切断の可能性ありやという目的で行った。
2. 答案として可能性ありといふ得る。
3. 方式として、酸素槍法を採用した。
4. 大型吹管による酸素アセチレン法と比較する暇はなかった。
5. 大型吹管を日本で試作するには、日子と費用とを要するため、次の機会にまわした。
6. 酸素槍は在庫品のものを用いた、試験したもののう

ちで最もよかったものは、内径 $4\sim 6\text{mm}$ 肉厚 $2\sim 2.5\text{mm}$ であった。

7. 作業は酸素瓶よりゲージ減圧弁をへて、 20m 内径 10mm のゴム管と市販アセチレン吹管を弁として、その途中につなぎ、上記の槍をゴム末端にさしこんで針金で結えたものでなした。

8. 酸素はこの装置で、減圧弁のところで $5\sim 10\text{atm}$ がよかった。その純度は 95% であった。

9. 純度については特に予備実験をなし、その影響の甚しいことを発見している。

10. 予熱も抽速のためコークスと鋼屑とを混じ、電弧及びアセチレンは避けた。

11. 試験成績としては、鋼片 1m^2 切断に槍約 200m 、酸素約 150m^3 、施行時間約 10hr を要し、その消耗品時価約 $14,000\text{y}$ 位かゝる。

12. 以上の成績は市販の間に合せ器材によるもので、充分に整備の上、技術も上達すれば数分の一の単価に切下げ得ると思う。

以上の条件で大型鋼塊切断の見込はついた。とに角我国で不可能とせられたものを可能ならしめたことをもって本報告を終る。

軌条鋼のフラッシュ・バット熔接後の熱処理(第2報)*

一曲げ試験と疲労試験

近 藤 誠 治** 古 川 徹**

Heat Treatment after Flash-Butt Welding of Railroad Rails (Report II)*

—Bending and fatigue test—

By S. Kondo,** T. Furukawa**

Abstract

In flash-butt welding, heat treatment after operation has a great significance, because there is a hazard of localized overheating from a great deal of heat produced in a short duration of time.

In Report I, the authors concluded after having carried out heat treatment at various temperatures of flash-butt welded rail steels and examined mechanical properties and microstructures that high temperature treatment was desirable.

In the present Report, the results of bending and fatigue test are given.

According to the tests, it is confirmed that consideration of safety for durability also requires the high temperature treatment.

フラッシュ・バット熔接は短時間に大きな熱量を受けるの

で、局部的に過熱されるおそれが多く、作業後の熱処理が問題になる。第1報¹⁾においてフラッシュ・バット熔接を行った軌条鋼を種々の温度で熱処理し、その機械的性質すなわち引張、硬さおよび衝撃試験と顕微鏡組織を検べ、高温

* 原稿受付 昭和28年6月

** 正員、新潟大学工学部 Member, The Faculty of Engineering, Niigata University.

処理が好ましいことを報告した。本文では引続いて曲げおよび疲労試験の結果を報告する。その結果は安全性を考えると高温熱処理を必要とすることを確めたものである。

1 緒 言

溶接材の曲げ試験は溶着度と溶着部分の材質の変化を見る上に重要な試験であるので、その試験法が規定されている。また軌条の如く繰返し荷重をうけるものは疲労試験も是非必要な項目である。本文はフラッシュ・バット溶接を行った鋼材を、種々の温度で熱処理し、上記の試験を行って熱処理によるこれら機械的性質を検べ、その結果最もよい熱処理法を求めたものである。

なお第 1 報の引張試験において溶接のまゝで何等熱処理を施さないものは伸び率が少く試験規定に不合格であった。これは顕微鏡組織において、試験片の標点距離のほとんど全般にわたって熱影響を受けておるので硬化されており、このために現在の試験片では伸び率において不利であり、長い試験片を使ったらあるいは合格するとも考えられた。この点を確かめるために標点距離の変化による伸び率を調べた。

2 曲 げ 試 験

フラッシュ・バット溶接鋼の曲げ試験については鶴田氏²⁾の研究がある。その結果は熱処理の影響をさ程認めていないようである。この点はよく確めなければならない。というのは引張試験や衝撃試験において熱処理の効果が著しいのに、曲げ試験だけ影響を受けないのはうなづけないから

Fig. 1 Stress-deflection curve of rail-road steel used for flash-butt welding.

である。このような理由からこの試験を行った。

今回の試験に使用した鋼材の組成を Table. 1 に示す。試験は溶接のまゝのもの、および溶接後 650°C および 830°C の 2 種類に焼準したもので、熱処理後径 10mm 長さ 200mm の試験片を削り出した。曲げ試験は両端を単純に支持し中央に集中荷重をかける。支点間の距離は 100mm とし、支持点および負荷点はそれぞれ径 40mm の円錐とした。荷重は零より次第に増してそれに相当する中央における撓みを測定した。降伏点をはるかに超えても尚切斷しない高温熱処理のものについては折り曲げ試験を行った。

鋼材 A に対する試験片の中央点の最大曲げ応力と撓みの関係を Fig. 1 に示す。B, C の低炭素の材料におけるも

Table 1 Chemical Contents and Tensile Properties of Used Material

Notation	C %	Mn %	Si %	σ_B kg/mm ²	φ %	Remark
A	0.60	0.85	0.25	78.5	19.6	50kg rail of our country
B	0.53	0.70	0.25	68.5	26.0	"
C	0.43	0.58	0.20	57.6	32.0	"

(JIS-4 Test piece)

Table 2 Results of Bending Test

Notation	Heat treatment	Bending strength at yield pt. kg/mm ²	Deflection at yield pt. mm	Remark
A	Welded alone	52.5	0.60	Break at 25° of bending angle
A	Heating up to 650°C and cooling after welding	51.5	0.57	Break at 44° of bending angle
A	Heating up to 830°C and cooling after welding	51.0	0.55	Durable up to 180° of bending angle
B	Welded alone	50.0	0.60	Cracks at 140° of bending angle
B	Heating up to 830°C and cooling after welding	48.1	0.60	Durable up to 180° of bending angle
C	Welded alone	47.5	0.65	" " "
C	Heating up to 830°C and cooling after welding	45.6	0.65	" " "

のも第1図と大体同様で、只その降伏点における応力が少ないだけである。Table 2 は曲げ試験の結果である。

試験の結果 Table 2 に示す如くいづれの材料も、降伏点における強度は熔接のまゝの硬化した材料が最も有利である。従って静荷重をうける部材に使用する場合はむしろ何等熱処理を施さない方がよい。一方折断までの撓みを見ると、熔接のまゝのものは、撓みが甚だ少なく、材料が硬化して靱性がないことを示している。650°C に加熱して空冷した低温熱処理のものも、熔接のまゝのものよりは幾分撓みは大きいが、なお充分とは言われない。これに反し 830°C に加熱して空冷したものは、降伏点応力は熔接のまゝのものに比べて若干低くなっているが、靱性が著しく増大して、降伏点後の折り曲げ試験を行った結果約 180° の角度まで曲げててもなお折断していない。すなわち高温処理を施したものは、熔接の際の過熱による硬化組織が充分改善されて、完全に標準化され靱性を取もどしたことを示している。Photo. 1 はA材料すなわち 0.6% C の軌条鋼の試験終了後の破断状況である。熱処理を施さないものや、不充分的ものは粘さが不足であることがわかる。

Photo. 1 Breaking states after bending test

A: Welded alone

B: 650°C treatment after welding

C: Normalized at 830°C after welding

以上曲げ試験を行った結果強度の点では、熔接のまゝのものが最も高く熱処理を施さない方がよい。然し熔接のまゝのものは靱性に乏しく、荷重の種類によっては不安である。軌条の場合は静荷重のみでないで、熱処理を施すことが安全である。

3 疲 労 試 験

均一な材質の鋼材の疲労試験については多くの研究があり、その疲労限は引張強さに此例することが明かにされている。熔接材は単に強度の点では熱処理を施さない方がよいことは、第1報及び今回の曲げ試験の結果から明かである。しかし熔接材は局部的に過熱される結果、その組織も機械的性質も不均一であるため、均一材質の鋼材における関係は成立しない。

フラッシュ・バット熔接鋼の疲労試験については三浦氏³⁾および西山氏⁴⁾の研究がある。いずれも熔接材の熱処理と疲労強度を取扱っている。しかし前者は試験片の数が甚だ少なく、結論を下すには無理がある。後者は極く低炭素鋼であるため、熱処理の効果は少なく、従って熱処理の影響を認めておらぬ。軌条鋼は半硬鋼程度の炭素を含有するので、熔接の際の熱影響を受けることが大きく、従って熱処理によって機械的性質が甚だしく変化をし、疲労強度も変化を見る筈である。只不均一な材質をもつために実験値のばらつきも大きく、試験片の数も相当多くとらなければならない。以上の如き期待をもって、軌条鋼について確定した疲労強度を求めたいため実験を行った。

実験は先づ松村式繰返し衝撃曲げ試験機で行った。機械は毎分34回の一定打撃とし、ハンマの高さを変化して、打撃エネルギーを 20~50kg-cm 間を6種類に変化した。打撃

Fig. 2 Repeated impact bending test of rail-road steel used for flash-butt welding

Table 3 Some Technical Properties of Tested Materials and Heat Treatment used for Repeated Impact Bending Test

Notation	Heat treatment	σ_B kg/mm ²	φ %	Charpy impact value
A_a	Virgin material	77.0	19.2	2.42
A_b	Welded alone	80.6	8.5	0.88
A_c	Heating up to 650°C and air cooling after welding	76.2	11.5	0.96
A_d	Heating up to 830°C and air cooling after welding	68.4	20.7	4.37

回数は試験片の破断するまでをとった。打撃後の跳上りによる小打撃は除くようにした。

試験片の材料は軌条材で、Table 1 に示す A 材である。熱処理は 650°C に加熱して空冷した低温焼鈍と 830°C に加熱して空冷した高温焼鈍の 2 種類とした。その他の温度における熱処理は試験片の数の点からできなかった。Table 3 は試験片材料の機械的性質である。値はすべて 3 本の試験片の平均値である。

又 Fig. 2 は今回の実験全体の記録である。打撃エネルギーの変化に対する打撃数をとってある。図上の測定点は 3 ～ 4 回の実験値の平均である。試験片は各種の材質に対し各荷重段階 5 本づゝ使用したが、甚だしく少い打撃数で破断したものは平均に入れないことにした。破断面は打撃エネルギー 40kg-cm 以上は粗い粒状破面のみで、破断は衝撃によって起っている。打撃エネルギー 27kg-cm では各種の熱処理のものすべて 20～30% の滑かな疲労破断面が現れ残部は衝撃破断面である。23kg-cm で 30～40%、20kg-cm で 40～60% の疲労破断面を呈した。衝撃破断面と疲労破断面の割合は、繰返し数が多い程後者が多くなっている。試験中適正と思はれない数で破断したものは、すべて破面が異状であった。肉眼では識別できないようなピンホールや偏折でも、耐久力に大きな影響を及ぼし予想外に少い打撃数で破断する。また溶接の際の技術上の不備たとへばアブセット不足も同様に悪い結果をもたらす。

さて疲労強度については Fig. 2 に示すように、母材が最もすぐれた耐久限をもち、溶接後 830°C 焼鈍のものにこれに次いでいる。また各種の荷重について見ると、高荷重では溶接のまゝのものより低温焼鈍したもののほうが疲労に対して強く、これが低荷重になるにつれて次第に弱くなり、20kg-cm の打撃エネルギーでは最も弱くなる。Fig. 3 は熱処理材を母材に対して打撃数を比較したもので、母材を 100 とした比をとってある。低荷重では各種類とも大きな差はないが、高荷重になるにつれて熱処理の影響が現れる。しかも 650°C 処理のものは溶接のまゝのものと大差なく、30～40kg-cm 程度の荷重ではほとんど同じである。換言すれば荷重によって疲労強度は変る。

軽負荷を受ける重軌条では熱処理の効果はほとんど認められず、従ってこの場合は熱処理なしでも、またどの熱処理でも大差がない。重負荷を受ける軽軌条は是非 830°C の高温処理をした方がよい。Fig. 4 は試験片が破断するまでに要した全エネルギーすなわち仕事量をやはり打撃エネルギーに対してとったものである。これらの結果を総合すると 650°C の低温焼鈍は疲労限に関しては溶接のまゝのものと大差なく、熱処理の

Fig. 3 Endurance ratio of flash-butt welded steel compared with virgin material under repeated impact bending test

効果はほとんど認められない。高温熱処理は母材に次ぐ高い疲労強度をもち、ことに重荷重でその効果が著しく現れる。

材質が均一であるものが疲労限が高く、引張強さにはほとんど関係がない。また疲労強度は荷重の種類によっても変わり、簡単に結論を下すことはできないが高温処理を施したものが強くなる。

Fig. 5 は小野式繰返し回転曲げ試験機による記録である。軌条材について倉

Fig. 4 Relation between the total required energy up to break and a energy per repetition

敷工業会社にて試験片を製作し、著者等と協同して実験した。この結果も図上で見られるように、相当測定点は散っているが、高温処理のものが素材について高い疲労限を示し、Fig. 2 と同様な傾向を示している。

本試験結果から疲労限は、軌条素材が 2.8kg/mm²、溶接後 830°C 焼鈍は 26kg/mm²、溶接のまゝは 25.5kg/mm²、溶接後 650°C 処理は 23kg/mm² と判定できる。

Fig. 5 Fatigue test of flash-butt welded steel according to Ono's type rotated bending

4 熔接試験片の標点距離と伸び率

均一材質の試験片における標点距離と伸び率の変化については古くから研究され、一般に標点距離の小さいほど伸び率は大きい。処がフラッシュ・バット熔接では JIS4 号試験片では標点距離の全部にわたって、熱影響を受けた硬化材質であるため、伸び率が少く出ると考えられ、これをもう少し長い試験片にしたらあるいは合格するのではないかと考えられる。それで標点距離を相当長くした試験片を作って試験して見ることにした。

試験は規格の上限、中部、下限を代表する Table 1 A, B, C 3 種の鋼材を用いた。これらの材料をフラッシュ・バット熔接し、半数を熔接後 830°C の高温焼準して実験に供した。試験片の直径は 14mm の一定とし、標点距離を 50, 70, 100, 150, 200mm の 5 種類とし、標点距離の変化による伸び率の変化を見た。別に熔接を行わない素材についても、各材共に同様の試験片を作製して比較することにした。

Fig. 6 は素材における標点距離と伸び率の変化である。標点距離が増すにつれて伸び率が低下している。Fig. 7~

Fig. 6 Relation between elongation and gauge length of carbon steel

Fig. 7 Relation between the tensile properties and gauge length of flash-butt welded steel (0.43%C steel)

Fig. 8 Relation between the tensile properties and gauge length of flash-butt welded steel (0.53%C steel)

Fig. 9 Relation between the tensile properties and gauge length of flash-butt welded steel (0.60%C steel)

Fig. 9 は熔接材における同様の線図である。これらを見ると、830°C 焼準のものは素材と同傾向を示しているが、熔接のままのものは標点距離 70mm 附近に最大点が現れる。又各種鋼材を通じて、同一熱処理のものは引張強さは殆んど変化なく、伸び率は均一材と同様に標点距離と共に次第に低下する。然し材質が不均一なために測定点は幾分ばらつく。

熔接規格で指示した $\sigma_B + 2.5\phi$ をとったのが、図の上部に示されている。但し σ_B は引張強さで、 ϕ は伸び率である。0.43%C の C 材料は標点距離 100mm まで $\sigma_B + 2.5\phi \geq 110$ となり、伸び率では合格である。A 及び B 材料は高温焼準を行えば、標点距離 70mm までは合格の範囲である。熔接のままのものは共に標点距離 50mm の時は失格であるが、70mm にすると合格範囲に入る。これ以上では再び失格となる。標点距離 50mm とするか、70mm とするかによって合否が分れる訳であるが、この点について

はもう少し検討する必要がある。と言うのは何れに決めるかにより實際上重大な危険が生ずるからである。標点距離の大小に関係なく局部断面収縮を起して破断する箇所は一定で、熔接部から 14~18mm 附近で起る。所が 4 号試験片の標点距離 50mm では、標点距離の全面にわたって熱影響を受けているため、断面収縮も少く従って伸び率も少い。これに反して標点距離が少しく増すと熱影響を受けない部分も含まれるので、全体として伸び率が增加する。更に標点距離がますます、第 6 図に示す如く局部断面収縮を起す。破断箇所から遠くはなれた伸びの少い部分が大きな割合となるので伸び率は減少するのである。

以上標点距離を 70mm 附近にとることは伸び率としては、一応合格の範囲に入るので、その点有利である。しかし第 1 報でも示したように熔接のままのものと及び低温焼鈍を施したものは、衝撃値では甚だしく少い。衝撃値は勿論引張試験片の標点距離には関係があるから、無理して伸び率だけ合格の範囲に入れても、軌条本来の安全性には関係がない。この点を考えると軌条の使用上現在の 50mm 標点距離を採用すべきである。

6 結 論

本文の実験の結果をまとめると次の如くである。

(1) 曲げ強さは降伏点強度は熔接のままのものは最も高い値を示すが、撓みが少く靱性がないので軌条の場合の如く活荷重を受けるものは高温焼鈍したものがよい。

(2) 疲労試験についても高温焼鈍をしたものが最も優れている。また軽荷重では熱処理の差違による耐久力の変

化は大きく現れないが、重荷重においては相当著しい変化が現れる。従って重荷重の場合は高温処理が望ましい。

(3) 軌条用鋼の伸び率は熔接後高温焼鈍すると標点距離 50~70mm の範囲合格である。熔接のままのものは 50mm では不合格であるが、70mm にすると合格の範囲に入る。しかし熔接のままのものは衝撃値が甚だしく低いので、荷重の種類によっては不安全で、軌条の場合はその荷重状態より考えて、標点距離は現在のままの 50mm としたい。

以上この研究の結果を総括すると次のことがいえる。フラッシュ・バット熔接を行った軌条は、熔接部は 1350°C 以上に加熱され、熱影響を受ける範囲は熔接中心から左右 30mm 以上に及んでいる。中心部は過熱のため脱炭され、粗大な結晶で脆弱である。焼入作用を伴うために強さと硬さは高いが靱性がなく、軌条材としては不安であるので 800~850°C に加熱して空中冷却を行なう高温処理を施すことが安全である。650°C 附近の低温焼鈍では尚不充分で、熔接のままのものと比較して大差がない。

この試験は国鉄および倉敷工業会社堀之内工場の求めもあり行ったもので、試験片の一部は同工場から提供をうけた。また多数の試験片の熱処理には一部分津上製作所長岡工場の世話になった。ここに記して厚く感謝の意を表わす。

- 1) 熔接学会誌 20—4,5 (1951) または新潟大学工学部研究報告 1—115 (1952)
- 2) 鶴田明, 熔接協会誌 9—8,410 (1939)
- 3) 三浦春信, 日立評論 23—9 (1940)
- 4) 西山昭二郎, 熔接学会誌 12—249. (1942)