

高周波焼入における噴射液冷却の冷却能について*

本 間 八 郎

Quenching Ability of Spray Quenching on the Induction Hardening.

Hachiro HOMMA

Synopsis:

The hot junction of Pt-Pt-Rh couple was fixed at the centre of a 10mm ϕ Ag ball. After heating up to 800°C this ball was dropped into a spray of various quenching media and the cooling curves were plotted by oscillogram. From these data, the spray-quenching mechanism was considered.

As the result, the next conclusions were summarized.

(1) The spray-quenching mechanism is similar to that of the conventional quenching essentially, but the cooling rate at the each stage of cooling curve becomes larger. In particular, vapor-film-breaking temperature rises extremely.

(2) The quenching ability of oil emulsion was compared with that of water.

(3) The effect of the flow rate on the cooling curve in spray quenching was made clear.

I. 緒 言

本報では高周波焼入の研究の一環として、本焼入法に多用されている噴射液冷却の冷却能について報告する。

正常な焼入組織を得ることや、焼割れなどを防止するには材料および加熱条件に対する考慮^{1)~3)}とともに、冷却剤およびその冷却方法の検討も重要である。

冷却剤の研究については多賀谷らの系統的な報告^{4)~6)}があるが、高速の液体を噴出させて冷却した場合の冷却能については未だ報告がないようである。そこで試作した実験装置により、水その他の噴射冷却について冷却能を測定し、これら実験結果に対する検討を試みた。

II. 実験方法

Fig. 1 および Fig. 2 に用いた実験装置を示す。直径 10mm の銀球に孔をあけ、球の中心に Pt-Pt-Rh 熱電対の先端を固定させ、これを縦型のニクロム電気炉により 800°C に加熱して、電気炉の下部に置いた冷却装置に落下させて冷却する。このときの熱起電力の変化を電磁オシログラフで測定した。冷却装置は Fig. 2 に示す通り、銅管をカゴ型に組立て、この内面に直径 1mm の孔を 10mm 間隔に 53 コあけた。そして、これから噴出する水束が、カゴの中心に集るようにし、銀球はこの位置で冷却されるようにした。また、噴水の流量、圧力は Fig. 1 のバルブ (a) で調節し得るようにした。なお、予備実験で静止状態の冷却能を測定するために、こ

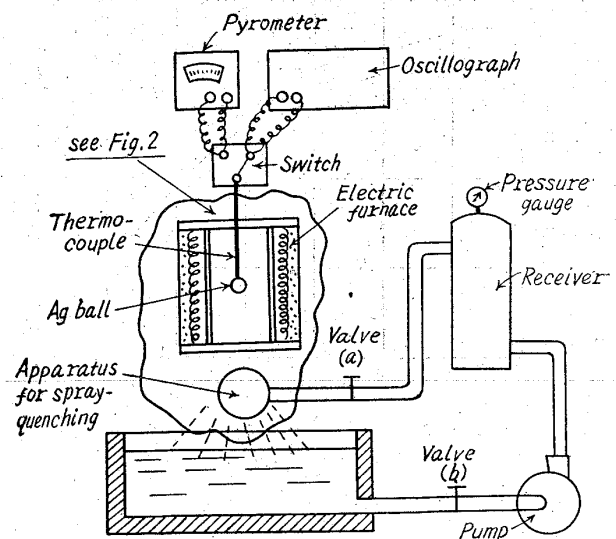


Fig. 1. Testing apparatus for spray-quenching ability.

の噴射冷却装置を取りはずせるようにし、この位置に測定すべき冷却剤を満した 500cc のビーカーを置かれるようにした。

III. 実験結果および検討

赤熱された固体が大量の液体中に投入されて冷却する場合、この温度が液温に達するまでに 4 段階の経路を経ることはよく知られた事実⁵⁾である。著者が本実験の対

* 昭和37年4月本会講演大会にて発表

** 株式会社日立製作所、亀有工場 工博

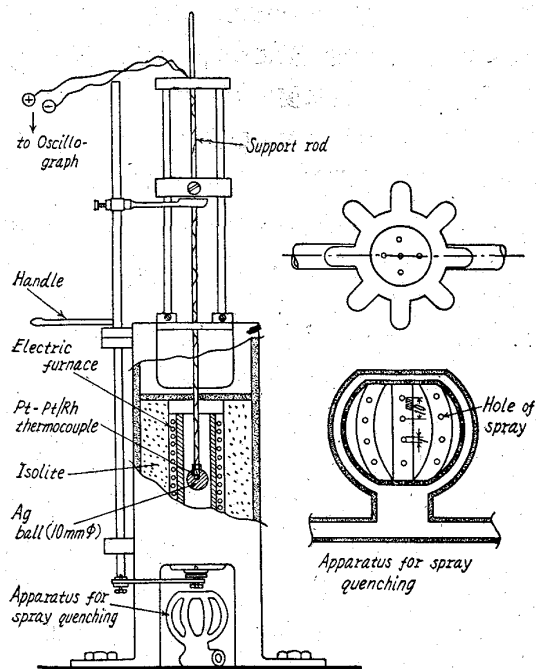


Fig. 2. Heating and cooling apparatus.

象とした噴射冷却の場合、この4段階のうち第2段階終了温度、すなわち蒸気膜崩壊温度⁵⁾に最も大きな影響をおよぼすと予想される。すなわち、この温度は冷却する液体の運動状態によつてもことなつてくるであろうから、噴射冷却のごとき高速度の液流が固体表面に当たる場合いちじるしくことなるに違いない。液流の衝撃力によつて蒸気膜崩壊を助長せしめ、その温度を高めることが予想されるのである。そして、最も冷却速度の大きい第3段階（沸騰段階）⁵⁾による冷却を多くすることが考えられる。これが噴射冷却とズブ焼入との相異の一番大きい点であろう。

これらに着目した2, 3の実験結果を以下に述べる。

Fig. 3 に予備実験として行なつた静水中にズブ焼入した場合の冷却曲線を示す。水温上昇とともに、次第に蒸気膜崩壊温度が低下し、蒸気膜段階における冷却速度も小になつていくのが認められる。Fig. 4 は常温 (21°C) および 50°C の水における噴射冷却の冷却曲線である。このときの全水束の総流量の平均は 220 cc/s である。これを見ると噴射冷却の場合にも蒸気膜、沸騰および対流の各段階を経ることが明らかであり、冷却曲線に対する温度の影響はズブ焼入の場合と同様である。すなわち、水温が上昇すると蒸気膜崩壊温度が低下し、かつ、蒸気膜段階の冷却速度が小になる。これらのことは、噴射冷却においてもやはり冷却機構はズブ焼入のそれと同じであることを裏書きしている。ただ、前述したごとくズブ焼入と噴射冷却との冷却曲線を比較すると、各

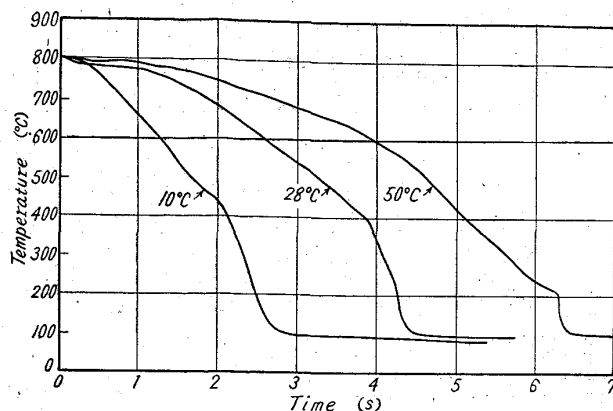


Fig. 3. Cooling curves in the case of quenching into still water.

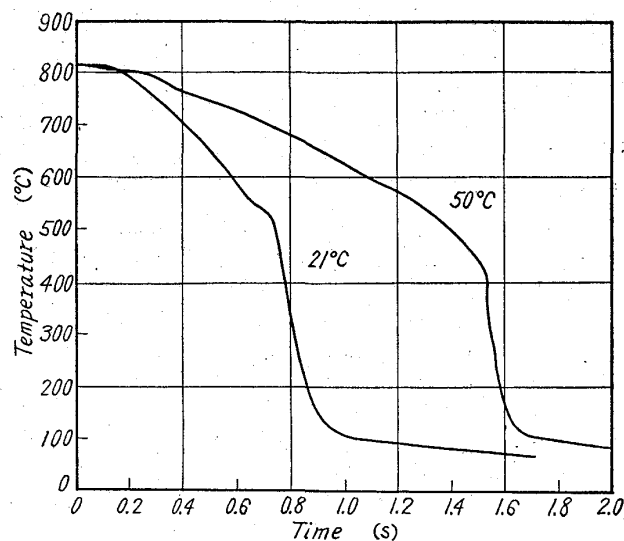


Fig. 4. Cooling curves in the case of quenching into spray water. (220 cc/s).

水温とも噴射冷却の方がいちじるしく蒸気膜段階を短くさせ、蒸気膜崩壊温度を上昇せしめている。すなわち、沸騰による冷却がズブ焼入にくらべて多くなつていくのが認められる。これには噴射による衝撃が蒸気膜崩壊に大きな役割をしているのであろう。このことは前述した通りである。さらに各段階における平均冷却速度が全般的にズブ焼入に比較して大きい。これは噴射流により、低温の水が銀球の表面に当たる機会が大きくなり、したがつて蒸気膜段階および沸騰段階においては単位時間に蒸発の潜熱によつて持ち去られる熱量が大きくなり、対流段階では顕熱によつて持ち去られる熱量が大となるからであろう。対流段階開始温度はズブ焼入とは差はなく 100°C である。

以上の結果は、全噴射流の流量が 220 cc/s で本装置のバルブ (a) (Fig. 1) を全開した時の冷却能である。

噴射流の圧力が変れば、前述の結果が変わることは当然予想せられるが、このことについては後に述べる。

これを要するに、高周波焼入に噴射水を冷却手段として用いることは焼割れ、焼歪に対してズブ焼入よりもたしかに危険性が多く、例えば同じ常温水の噴射流とズブ焼入との 300°C 附近における冷却速度を比較して見ると約 7 倍も大きいので、材料の選択および加熱条件に注意を払わねば事故をひき起しやすい。しかも、これは、たとえ冷却水の温度を上げて沸騰段階における冷却速度にはさほど影響を与えないので効果が少い。むしろ、 550°C 附近の冷却速度を下げるのでマイナスの効果を与えると思われる。この点は実地に当つて注意を要する点である。

水による実験から、噴射冷却の場合にも蒸気膜段階、沸騰段階および対流段階の経過を経ることが明らかになり、また 300°C 以下のマルテンサイト変態温度区間における冷却速度が水のズブ焼入に比してきわめて速いことがわかった。そこで、この附近の冷却速度を遅くさせ

ような冷却剤を見出すために、切削油に水に混合しエマルジョン液にした乳化油について実験を行なつた。一般の焼入油を噴射冷却に使用する場合、冷却能からは良好と思われるが、経済性および作業性に難点があり、この点では乳化油の方が欠点が少ない。Fig. 5 に予備実験として行なつた乳化油のズブ焼入における冷却曲線を示す。乳化油の濃度を 2% および 5% とした。常温 (28°C) においては、乳化油の濃度が高くなるにしたがつて蒸気膜崩壊温度が低くなつていく。また乳化油と水との顕著な差は、蒸気膜段階がきわめて長くなり、かつ沸騰段階がきわめて短くなることである。これが液温の上昇とともに、さらに顕著になり 50°C では、各濃度とも段階の区別が明瞭でなくなつてくる。しかしながら 100°C 近くになると、再び沸騰段階があらわれ、ここでは 28°C の場合と同様に乳化油の濃度を増すとともに蒸気膜崩壊温度が低くなつていく。かかる不規則な傾向は乳化油のごときエマルジョン特有なものと思われる。すなわち、蒸気膜段階において、蒸気膜の外側にゲル化した固形被膜を形成し、これがこの段階の冷却機構に変化を与えるものと考えられる。いずれにしても、乳化油は非常に冷却能を低下せしめる。同図中には、市販の一般焼入油の冷却曲線を比較のために併記した。これを見ても明らかなごとく、この程度の濃度の乳化油で、もはや 300°C までの平均冷却速度は焼入油より遅い。また、対流段階開始温度は、この程度の稀薄液では水と大差なく約 100°C である。これは沸点がほとんど変らぬためである。

つぎに、この乳化油の噴射の場合について検討した。

Fig. 6 は常温 (29°C) および 50°C における 2% 乳化

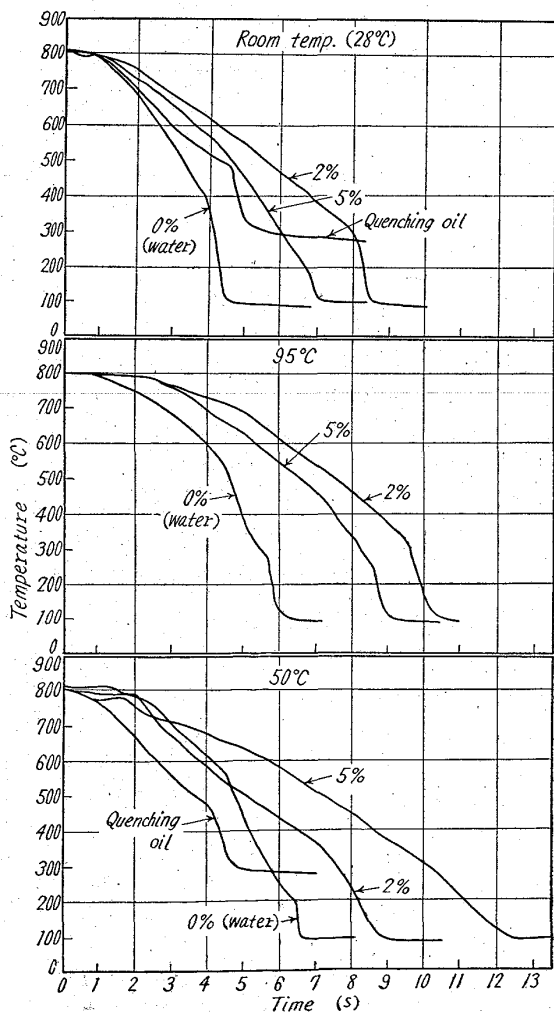


Fig. 5. Cooling curves in the case of quenching into still oil emulsion.

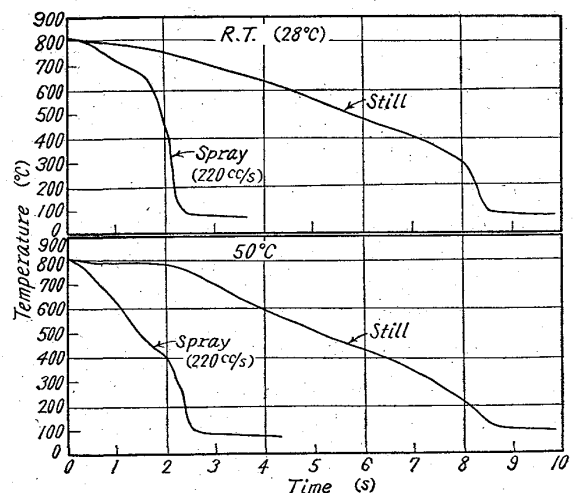


Fig. 6. Cooling curves in the case of quenching into the still and the spray oil-emulsions.

油の噴射冷却とズブ焼入との冷却曲線の比較である。このときの噴射流量は 220cc/s とした。これを見て明らかごとく、乳化油の場合にも水と同様な噴射冷却の特徴を示している。すなわち、ズブ焼入の場合にくらべ、各温度とも蒸気膜崩壊温度を高め、沸騰段階を長くさせている。そして、各段階の平均冷却速度を大にさせている。この理由は水の場合と全く同様であろう。ただ水と変っている点は Fig. 7 に示すごとく、乳化油では温度上昇とともに、沸騰段階における冷却速度がかなり小になることである。常温では水の噴射の場合と大差がないが、50°C では約 1/4 になる。これらの事実は乳化油の実用性にきわめて重要である。すなわち、高周波焼入などの冷却剤として 2% 程度の乳化油を使用する場合、常温では効果が少ないが、液温を高めてやるとかなり焼割れ防止に役立つことである。

以上の実験結果より、噴射冷却の効果が蒸気膜破壊の助長にあるとすれば、噴射衝撃力の大小が問題となる。また噴流の太さおよび間隔、したがって噴射孔の径および間隔や、噴流と物体との角度も問題となろう。本実験に用いた装置では、被焼入体として球形（直径10mm）の銀を用い、この表面に出来るだけ等間隔（銀球面上におけるピッチは約 2 mm）でかつ直角に当るようにした。噴射圧力を直接測定することは困難であったので、この場合圧力に比例すると考えられる全噴射孔の総流量の平均をもつて代表した。Fig. 8 に水および乳化油の流量を各種に変えた場合の冷却曲線を示す。これを見て明らかなように冷却剤の種類、温度に関係なく噴射の流量が小になるにしたがって蒸気膜段階の平均冷却速度が小になり、崩壊温度が低下している。沸騰段階における冷却速度には大した影響が見られない。以上のことは噴流の衝撃力が蒸気膜崩壊の一助となっており、この圧力と蒸気膜崩壊温度や、この段階の平均冷却速度と相関を有することを示している。

以上述べた噴射冷却の特質を蒸気膜崩壊温度よりまとめた図を Fig. 9 に示す。なお、実際に焼入するときの参考となるように Table 1 に 500~600°C および 300°C 以下の平均冷却速度を各種冷却剤および冷却方式について比較した。

IV. 結 言

試作した銀球の噴射冷却装置により、高周波焼入で多

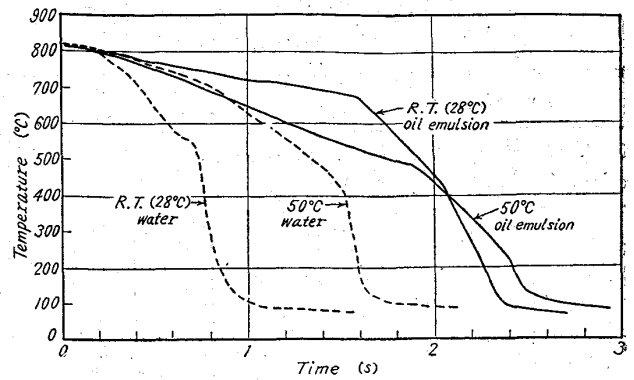


Fig. 7. Comparison of cooling curves between coolings into water and into 2% oil emulsion.

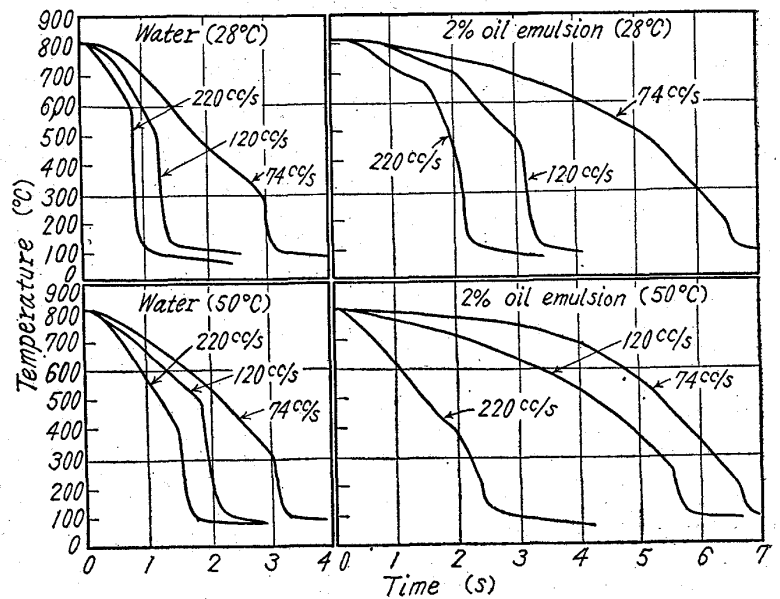


Fig. 8. Relation between cooling curves and flow-rate in spray quenching.

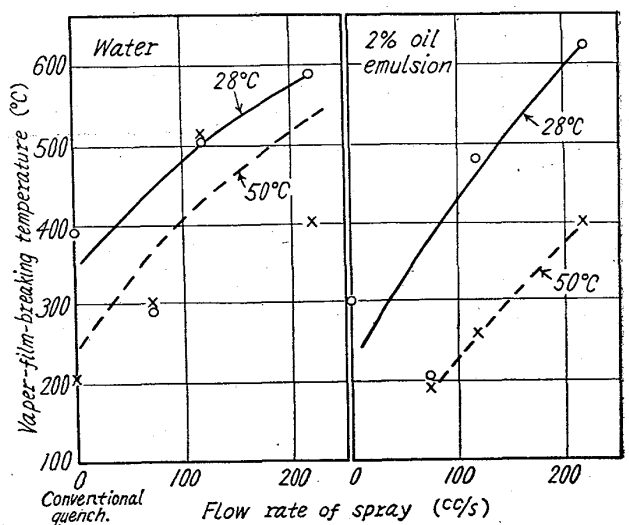


Fig. 9. Relation between the vapor-film-breaking temperature and the flow-rate in spray quenching.

Table 1. Comparison of cooling rates in various quenching methods.

Quenching method				Cooling rate °C/s		
Kinds of quench.	Kinds of quench. medium	Temp. °C	Flow rate cc/s	°C		
				500~600	100~300	
Still	Water	10		625	350	
		28		150	714	
		50		190	253	
		95		190	333	
"	Quench. Oil	28		77	25	
		100		92	20	
"	2% oil emulsion	28		75	714	
		50		71	192	
		95		50	311	
"	5% oil emulsion	28		100	333	
		50		55	76	
		95		76	333	
Spray	Water	28	220	700	3200	
		"	120	870	2500	
		"	74	515	2550	
		50	220	340	2430	
		"	120	198	1120	
	"	2% oil emulsion	"	220	610	1220
			"	120	195	1600
			"	74	110	400
			50	220	210	620
			"	120	170	640
"	"	74	190	530		

用せられる噴射冷却の冷却機構を明らかにし、焼割れ防止に効果ある冷却方式を見出した。以上の研究結果を要約すると次の通りである。

(1) 高周波焼入における噴射水冷却の機構は、本質的には静水冷却の場合と同じである。すなわち、蒸気膜

段階、沸騰段階および対流段階を経て冷却される。

(2) 静水冷却といちじるしく相異なる点は、噴射の衝撃によつて蒸気膜崩壊温度を高めることである。それ故、噴射水冷却の場合は一般に、静水冷却にくらべて、蒸気膜段階が短く、沸騰段階が長いことが特長である。各段階の冷却速度もかなり大になる。

(3) 沸騰段階の冷却速度に対する冷却剤の温度の影響は、水の場合にはほとんど認められないが、乳化油の場合には、温度上昇とともにかなり小になる。

(4) それ故、高周波焼入で噴射冷却を行なう場合、冷却剤として水を用いると、ズブ焼入にくらべて焼割れの機会がはるかに大きくなるが、これは水温を上げてても軽減されず、熱処理方法、鋼種に対して余程の注意を要する。これに対して、2%乳化油を用いると水の噴射の場合より、鋼の Ms 点以下の冷却速度をかなり下げることが出来、特に 50°C 程度に乳化油の温度を上げるとその効果がいちじるしい。

(5) 噴射圧力は、蒸気膜崩壊温度に影響を与える。すなわち、圧力を下げると蒸気膜崩壊温度が低下する。

(昭和37年3月寄稿)

文 献

- 1) 須藤利孝, 本間八郎: 日立評論, 40 (1958) 6, p. 749~759
- 2) 本間八郎: 鉄と鋼, 48 (1962) 7, p. 856
- 3) 本間八郎: 鉄と鋼, 48 (1962) 8, p. 953
- 4) 多賀谷, 田村: 日本金属学会誌, B-15 (1951), p. 589
- 5) 多賀谷, 田村: 日本金属学会誌, B-15 (1951), p. 538
- 6) 多賀谷, 田村: 日本金属学会誌, B-15 (1951), その他一連の報告
- 7) 多賀谷, 田村: 金属表面技術, 6 (1955), p. 7