浸炭焼入れ歯車の曲げ疲労強度に
及ぼす粒界酸化の影響*小 田 哲^{*1}, 小 出 隆 夫^{*1}
松 井 光 次^{*2}, 山 本 謙^{*2}The Effect of Intergranular Oxidation on the Bending Fatigue
Strength of Case-Hardened GearsSatoshi ODA, Takao KOIDE,
Mitsuji MATSUI, and Yuzuru YAMAMOTO

This paper presents a study on the effect of intergranular oxidation on the bending fatigue strength of case-hardened gears. The test gears were case-hardened by gas carburizing and vacuum carburizing methods, and the state of the intergranular oxidation and the grain size of these gears were examined. The bending fatigue tests of these gears were carried out, and the effects of the intergranular oxidation on the bending fatigue strength of case-hardened gears were clarified. Furthermore, the various mechanical surface treatments (shot peening, shot blasting, etc.) were performed on these gears, and the effect of the mechanical surface treatments after case-hardening on the bending fatigue strength was investigated by carrying out bending fatigue tests.

Key Words: Gear, Fatigue, Case-Hardened Gear, Intergranular Oxidation, Bending Fatigue Strength, Gas Carburizing, Vacuum Carburizing, Shot Peening, Shot Blasting

1. 緒 言

歯車装置に対して高負荷、小形・軽量化の要求が強まってくるにつれて、浸炭焼入れ歯車が多く使用されるようになってきた。しかし、一般に広く採用されている普通ガス浸炭法（以下、単にガス浸炭法と呼ぶ）によると表面硬化層に粒界酸化が生じるため、歯車や軸の曲げ疲労強度が低下することが指摘されている。

本研究では、まずガスおよび真空浸炭焼入れ法で粒界酸化のある歯車とない歯車を製作し、曲げ疲労試験を行って浸炭焼入れ歯車の曲げ疲労強度に及ぼす粒界酸化の影響について検討を加えている。さらに、これらの歯車の歯底部表面に種々の加工を施し、曲げ疲労試験を行って曲げ疲労強度に及ぼす浸炭焼入れ後の歯底部加工の影響についても明らかにしている。

2. 実験方法および実験装置

2.1 試験歯車 本実験に使用した試験歯車は、モジュール $m=4$ 、圧力角 $\alpha=20^\circ$ 、歯数 $z=26$ 、歯幅 $b=10$ mm の標準並歯平歯車である。材質は SNC 815

および SCM 420 であり、2 種類の浸炭法（ガス浸炭法、真空浸炭法）で浸炭焼入れを行った。図 1 に浸炭焼入れ条件を示す。一部の歯車に対しては、図 2 に示すサブゼロ処理を施している。試験歯車の記号は、材質、浸炭法、浸炭焼入れ後の歯底部加工方法などによって表 1 に示すように定めた。ショットピーニングにおけるショット寸法、アークハイト（アルメンストリップ A スケール）はそれぞれ $\phi 0.7, 0.3$ mm、ショットプラストではそれぞれ $\square 1.4, 0.35$ mm である。またスカ

(a) ガス浸炭

(b) 真空浸炭

図 1 浸炭焼入れ条件（( )内の温度は SNC 815 の場合）

* 昭和 61 年 10 月 7 日 第 64 期全国大会講演会において講演、原稿受付 昭和 62 年 10 月 5 日。

^{*1} 正員、鳥取大学工学部（〒680 鳥取市湖山町南 4-101）。

^{*2} 正員、宇部興産（株）（〒755 宇部市小串字沖の山 1980）。

イピング、研削加工による歯底部の削り量はそれぞれ 0.15, 0.03 mm 程度である。なお、表 1 中、数字 1' の歯車は他の歯車とロッドが異なる。NV 4, MV 4 については各歯の歯底部の削り量のばらつきが大きかったので、硬さ測定、曲げ疲労試験などは行っていない。

図 3 はガス浸炭歯車 NCS1', 真空浸炭歯車 NVS1' の歯側面の粒界腐食写真を示す。NVS1' の結晶粒は NCS1' よりもかなり大きい。浸炭時間は真空浸炭のほうがかなり短いので、これは浸炭温度が真空浸炭のほうが高いことによると考えられる。サブゼロ処理によっては結晶粒の大きさはほとんど変わらなかった。

図 4 は各歯車の歯の断面写真を示す。図 4 (a)

～(c) よりガス浸炭歯車 NCS1', 1 には歯の表面近傍に粒界酸化層が認められるが、真空浸炭歯車 NVS1' には認められないこと、NCS1' の粒界酸化層の厚さは NCS 1 の 2 倍程度もあることがわかる。NC1' の場合は NCS1' と同様であり、また他の真空浸炭歯車の場合も粒界酸化層は認められなかった。図 4 (c) ～(e) より粒界酸化層はショットブラストを施しても変わらないが、さらに研削を施すことによって消失することがわかる。ガス浸炭焼入れ後ショットピーニングを施した場合およびショットブラスト後スカイピング加工を施した場合の歯の断面はそれぞれ図 4 (d), (e) とほぼ等しく、また MCS 1～5 の場合もそれぞれ

図 2 サブゼロ処理

表 1 試験歯車の記号

	Gas carburized* ¹		Vacuum carburized	
	SNC815	SCM420	SNC815	SCM420
As casehardened	NC1', NCS1, 1'	MCS1	NV1, 1', NVS1'* ²	MV1
Shot peened	NCS2	MCS2	NV2	MV2
Shot blasted	NCS3	MCS3	NV3	MV3
Skived with skiving hob after shot blasting	NCS4	MCS4	NV4	MV4
Ground with hand grinder after shot blasting	NCS5	MCS5	NV5	MV5

*¹: sub-zero treated except for NC1', *²: sub-zero treated

(a) NCS1'

(b) NVS1'

図 3 粒界腐食写真 (歯底部危険断面付近)

(a) NCS1'

(b) NVS1'

(c) NCS 1

(d) NCS 3

(e) NCS 5

図 4 断面写真 (歯底部危険断面付近)

図5 硬さ分布

NCS 1~5 の場合と同様であった。

図5は各歯車の硬さ分布を、横軸に表面からの距離をとって示す。図5より表面硬さは、歯車の材質、浸炭法にかかわらず浸炭焼入れ後ショットピーニング、ショットブラストを施すことによって増大する傾向を示すこと、ショットブラスト後のスカイピング、研削加工によって減少する傾向を示すことが認められる。

2・2 曲げ疲労試験 各歯車に対する曲げ疲労試験は、油圧式曲げ疲労試験機⁽¹⁾を用いて行った。荷重の繰返し速度は760回/minである。

3. 実験結果および考察

3・1 曲げ疲労強度に及ぼす粒界酸化の影響

図6は歯車NC1', NCS1', NV1', NVS1'に対する曲げ疲労試験結果を、縦軸に歯面荷重と会田・寺内式⁽²⁾により計算される引張側歯元実応力、横軸に繰返し数をとって示す。粒界酸化の生じている歯車NC1', NCS1'の曲げ疲労限度荷重 P_u は生じていない歯車NV1', NVS1'の場合よりも10~25%程度小さい。表面硬さはNC1', NCS1'のほうが高く〔図5(a)〕、結晶粒も小さい(図3)ので、これは粒界酸化の影響によるものと考えられる。また、NCS1'の P_u はNC1'の場合よりも大きい、これはサブゼロ処理による硬さの増大の影響によるものと考えられる。

3・2 曲げ疲労強度に及ぼす浸炭焼入れ後の歯底部加工の影響 図7は浸炭焼入れ後歯底部に種々の加工を施した各歯車に対する曲げ疲労試験結果を示す。図8は図7の結果より求めた各歯車の曲げ疲労限度荷重 P_u を示す。これらの図より、浸炭焼入れ後ショットピーニングあるいはショットブラストを施した歯車の P_u は、歯車の材質、浸炭法にかかわらず熱処理はだの場合よりも15~50%程度も大きくなること、 P_u の増大の程度は粒界酸化がある場合(ガス浸炭)にはショットブラストよりもショットピーニングを施したほうが、粒界酸化がない場合(真空浸炭)にはショットブラストを施したほうが大きいことが認められる。また、

図6 曲げ疲労強度に及ぼす粒界酸化の影響 (SNC 815)

(a) SNC 815 ガス浸炭焼入れ歯車

(b) SNC 815 真空浸炭焼入れ歯車

(c) SCM 420 ガス浸炭焼入れ歯車

(d) SCM 420 真空浸炭焼入れ歯車

図 7 曲げ疲労強度に及ぼす浸炭焼入れ後の歯底部加工の影響

図 8 各歯車の曲げ疲労限度荷重の比較

ガス浸炭 (NCS, MCS) の場合には、 P_u はショットブラスト後歯底部に研削、スカイピング加工を施すことによってショットブラストのみの場合と比べて増大する場合と減少する場合があるが、真空浸炭 (NV, MV) の場合には研削加工によって減少することがわかる。ガス浸炭の場合には歯底部の研削、スカイピング加工によって粒界酸化層が削り取られるが、危険断面歯厚が小さくなり、削りすぎた場合には表面硬さも低くなるので、 P_u は削り量によって粒界酸化層の消失の影響が大きく現れる場合には増大、危険断面歯厚および表面硬さの減少の影響が大きく現れる場合には減少するものと考えられる。真空浸炭の場合には粒界

酸化は生じないので、これらの加工による危険断面歯厚の減少によって P_u が小さくなるものと考えられる。また、NCS 1 と NV 1 の P_u を比較すると図 6 の場合 (NCS1', NV1') と異なり、NCS 1 のほうが大きいことが認められる。これは NCS 1 の粒界酸化層の厚さが NCS1' よりもかなり薄い [図 4 (a), (c)] ことによるものと考えられる。

4. 結 言

本報で明らかになった諸点を要約すると次のようになる。

(1) ガス浸炭焼入れ歯車の曲げ疲労強度は、サブゼロ処理を施さない場合には粒界酸化の影響により真空浸炭焼入れ歯車の場合よりも小さいが、施した場合には粒界酸化層の厚さによっては真空浸炭焼入れ歯車の場合よりも大きくなる場合がある。

(2) 浸炭焼入れ歯車の曲げ疲労強度は粒界酸化がある場合でも浸炭焼入れ後ショットブラスト、ショットピーニングを施すことによりかなり増大する。

(3) ガス浸炭焼入れ歯車の場合には、浸炭焼入れ後の歯底部の研削、スカイピング加工の削り量により曲げ疲労強度が増大する場合と減少する場合があるが、真空浸炭焼入れ歯車の場合には、これらの加工によって減少する。

おわりに、本研究を行うにあたり、実験、資料整理に熱心に協力された鳥取大学文部技官 難波千秋氏に

対して厚くお礼申し上げます。また、本研究の一部は昭和 61, 62 年度文部省科学研究費〔一般研究(C)〕によるものであることを付記し関係各位に謝意を表します。

文 献

- (1) 会田・小田・中島, 機論, 32-233 (昭 41), 137.
  - (2) 会田・寺内, 機論, 27-178 (昭 36), 853.
-