

浸炭焼入れ薄肉対称ウェブ構造歯車の 残留応力と曲げ疲労強度

鳥取大学 宮近幸逸 鳥取大学[院] 薛 衛東
鳥取大学[院] ○吉川智也 鳥取大学 小出隆夫
福山大学 小田 哲 鳥取大学 難波千秋

1 緒 言

本報では、薄肉対称ウェブ構造歯車の浸炭焼入れ過程の温度・応力を三次元 FEM による熱伝導解析、弾塑性応力解析法¹⁾を用いて計算し、残留応力を求めるとともに、曲げ疲労試験を行って、残留応力に及ぼす浸炭時間(硬化層厚さ)、浸炭部(歯面、歯車側面、リム内周、ウェブ表面)、リム厚さの影響、曲げ疲労強度に及ぼす浸炭時間、浸炭部などの影響について明らかにするとともに、これらの結果と一体歯車の場合との比較検討を行っている。

2 三次元 FEM による温度・応力の計算

本計算に用いた薄肉対称ウェブ構造歯車の寸法・形状を Fig.1 に示す。それらの主諸元は、モジュール $m=4$ 、歯数 $z=36$ 、基準圧力角 $\alpha_0=20^\circ$ 、歯幅 $b=20$ mm、ウェブ厚さ $b_w=5$ mm ($b_w/b=0.25$)、リム厚さ $l_w=2m$ (m :モジュール)である。歯車材料は SNC815 で、浸炭時間 t_c としては、 $t_c=0.75, 3.25, 8.5$ h の 3 種類を用いた。これらの t_c に対する有効硬化層厚さは、ピッカース硬さ 550HV でそれぞれ 0.4, 0.8, 1.4 mm 程度¹⁾になる。本解析では、歯車形状の対称性および熱処理条件の円周方向における一様性を考慮して、歯および歯幅の 1/2 に対して四面体要素を用いて要素分割を行った。浸炭部としては、Fig.2 に示すように、歯面のみから浸炭される場合をケース T、歯面、リム内周、ウェブ表面から浸炭される場合(歯車側面浸炭防止)をケース TRW、歯面、歯車側面、リム内周、ウェブ表面から浸炭される場合(浸炭防止なし)をケース TSRW とした。

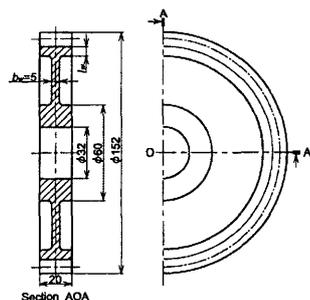


Fig.1 Gear dimensions

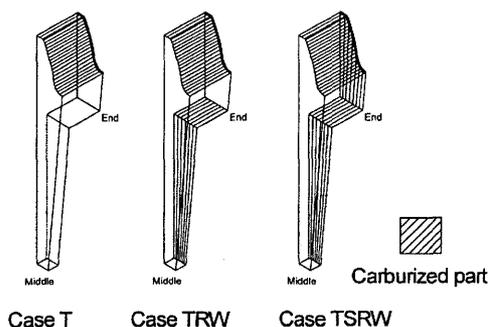


Fig.2 Carburized parts

3 実験方法および実験装置

3.1 試験歯車 曲げ疲労試験に用いた歯車は、一体歯車 GA, GB, GC と Fig.1 に示す形状・寸法をもつ薄肉対称ウェブ構造歯車 GD, GE で、それらの主諸元、歯車記号および硬化層厚さなどを Table I に示す。Table I 中の浸炭時間 t_c が 2 章の場合と異なるのは、浸炭雰囲気異なることによる。

3.2 曲げ疲労試験 Table I に示す試験歯車に対して、油圧式パルサー試験機²⁾を用いて曲げ疲労試験を行った。

4 計算・実験結果および考察

4.1 残留応力に及ぼす浸炭部の影響 Fig.3 は、リム厚さ $l_w=2m$ 、ウェブ厚さ $b_w/b=0.25$ 、浸炭時間 $t_c=8.5$ h、浸炭部ケース T (歯面のみ浸炭)、TRW (歯車側面浸炭防止)、TSRW (浸炭防止なし) の場合の歯面およびリム内周の残留応力分布を示す。Fig.3 中の歯面の応力は、歯形に沿って生じる歯たけ方向の主応力値を歯面垂直方向に、リム内周の応力は円周方向の主応力値をリム内周に垂直方向にとったもので、符号 \oplus 、 \ominus はそれぞれ引張、圧縮応力を表す。Fig.3 より、歯底付近の圧縮残留応力は、リム内周およびウェブ表面を浸炭することによって減少すること、また、歯車側面を浸炭することによって歯幅端歯先付近の圧縮残留応力が減少することがわかる。

Fig.4 は、Fig.3 の結果から求めた接線角度 $\theta=30^\circ$ (θ : 歯形中心線と歯元すみ肉曲線の接線のなす角) の Hofer の危険断面位置の残留応力 $\sigma^*_{\theta=30^\circ}$ を示す。Fig.4 より $\sigma^*_{\theta=30^\circ}$ は、ケース TSRW, TRW, T の順に大きくなることより、歯車側面、リム内周、ウェブ表面を浸炭防止することによって増大させることができると考えられる。

4.2 残留応力に及ぼす浸炭時間(硬化層厚さ)の影響 Fig.5 は、 $l_w=2m$ 、 $b_w/b=0.25$ 、 $t_c=0.75, 3.25, 8.5$ h、ケース TRW (歯車側面浸炭防止) の場合の歯面およびリム内周の残留応力分布を示す。Fig.5 より浸炭時間の増加とともに歯底付近の圧縮残留応力が減少することがわかる。

Fig.6 は、Fig.5 の結果から求めた $\sigma^*_{\theta=30^\circ}$ を示す。Fig.6 より、 $t_c=8.5$ h の場合の $\sigma^*_{\theta=30^\circ}$ は、 $t_c=0.75, 8.5$ h の場合に比べてかな

Table I Dimensions of test gears

Gear sign	GA	GB	GC	GD	GE
Gear structure	Solid			Symmetric	
Module	m				
Pressure angle	α_0				
Number of teeth	z_e				
Face width	b				
Web thickness	b_w			5 mm	
Rim thickness	l_w			2 m	
Carburizing time	t_c				
	110 min	270 min	840 min	270 min	840 min
Case depth	d_e				
	0.40 mm	0.65 mm	1.15 mm	0.65 mm	1.15 mm

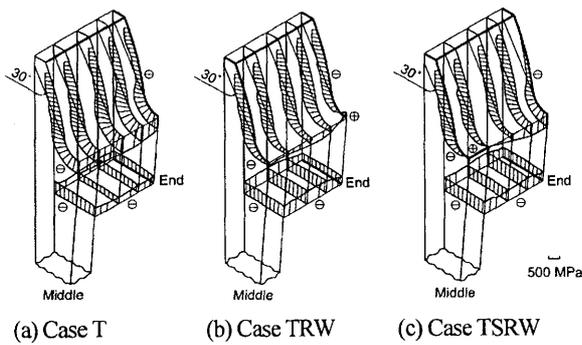


Fig.3 Residual stress distributions
($l_w=2m, t_c=8.50h$)

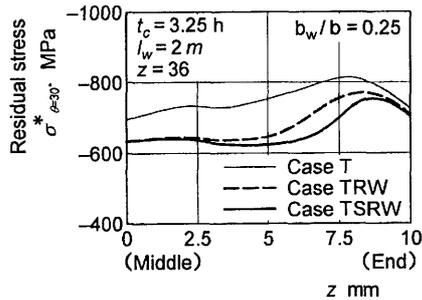


Fig.4 Effect of carburized part on residual stress ($l_w=2m, t_c=3.25h$)

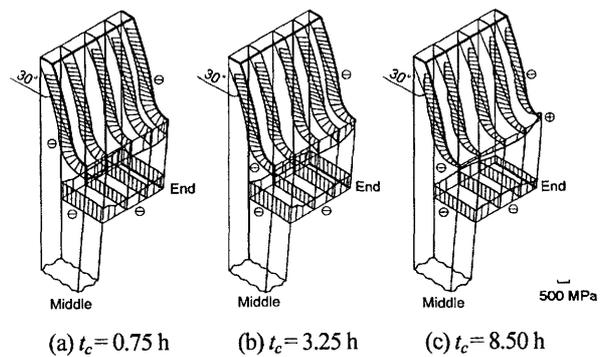


Fig.5 Residual stress distributions
($l_w=2m$, Case TRW)

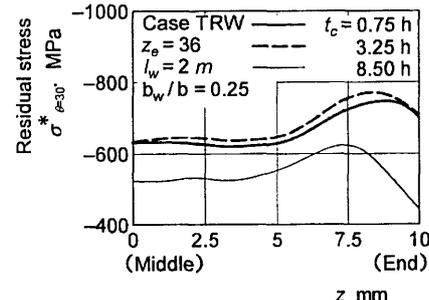


Fig.6 Effect of carburizing time on residual stress ($l_w=2m$, Case TRW)

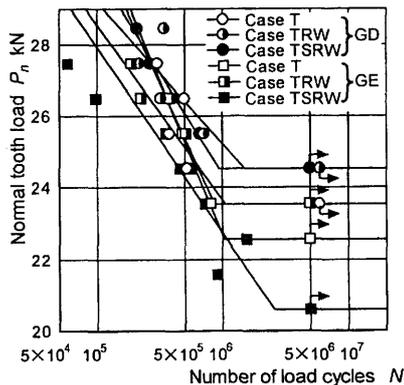


Fig.7 S-N curves

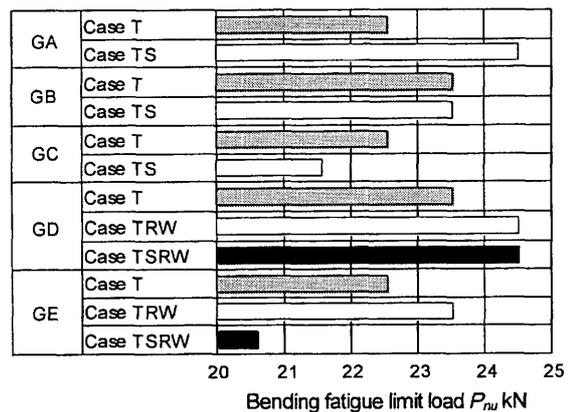


Fig.8 Bending fatigue limit loads

り小さいことがわかる。

4.3 曲げ疲労強度 Fig.7 は、Table I に示す試験歯車 GD、GE の曲げ疲労試験結果を示す。

Fig.8 は、Table I に示す試験歯車の曲げ疲労限度荷重 P_m を示す。Fig.8 より P_m は、一体歯車では GA のケース TS の場合が最も大きく、薄肉対称ウェブ構造歯車では GD のケース TRW、TSRW の場合が最も大きく、これらの P_m は一体歯車と薄肉対称ウェブ構造歯車の場合ではほぼ同じになることがわかる。

5 結 言

(1) 浸炭焼入れによる薄肉対称ウェブ構造歯車の歯面の圧縮残留応力は、リム内周およびウェブ表面を浸炭焼入れすることによって歯底付近で減少し、歯車側面を浸炭焼入れすることによって歯車側面歯先付近で減少する。また、それらの減少の程度は浸炭時間 t_c の増加につれて増大する。

(2) 浸炭焼入れによる薄肉対称ウェブ構造歯車の圧縮残留応力は、リム厚さにかかわらず、浸炭時間が長すぎる場合には、

適切な浸炭時間の場合に比べて、歯車側面歯先付近でかなり小さくなる。

(3) 浸炭焼入れによる薄肉対称ウェブ構造歯車の Hofer の危険断面位置 [接線角度 $\theta=30^\circ$ の位置 (θ : 歯形中心線と歯元すみ肉曲線の接線のなす角)] の歯たけの方向の圧縮残留応力 $\sigma_{\theta=30}^*$ はリム厚さにかかわらず、歯車側面、リム内周、およびウェブ表面を浸炭防止することによって増大する。また、その増大の程度は浸炭時間 t_c の増加につれて増大する。

(4) 薄肉対称ウェブ構造歯車の曲げ疲労限度荷重 P_m は、有効硬化層厚さ $d_e=0.65$ mm 程度で、浸炭防止なしの場合、側面のみ浸炭防止した場合に最も大きく、この P_m は一体歯車の場合とほぼ同じである。

参考文献

- 1) 宮近・他 5 名, 日本機械学会論文集(C 編), 67-658, 1980 (2001).
- 2) 小田・他 2 名, 日本機械学会論文集(C 編), 45-393, 575(1979).