

JUNE. 1974

RIIS-RR-23-4

UDC 621.924

産業安全研究所研究報告

RESEARCH REPORT OF
THE RESEARCH INSTITUTE OF INDUSTRIAL SAFETY

RR-23-4

ピトリファイド砥石の疲れ強さ

桑 川 壯 一

労働省産業安全研究所
MINISTRY OF LABOUR
THE RESEARCH INSTITUTE OF INDUSTRIAL SAFETY

ビトリファイド砥石の疲れ強さ

桑川 壯一*

Fatigue of Vitrified Grinding Wheel

by Soichi Kumekawa*

In general, the fluctuating stress varied according to change of rotating speed and to another operating condition applies on grinding wheels.

For example followings are supposed.

- (1) In usual operating
 - a) fluctuating stress when rotating speed varies from stationary state to rating speed (in trial run)
 - b) fluctuating stress by change of grinding load in addition to above (in grinding)
- (2) In the inspection for strength guarantee of grinding wheels, fluctuating stress when the rotating speed varies form stationary state to the testing speed, etc.

In addition, it is supposed that some fluctuating stress by mechanical vibration applies on grinding wheels in all operating state.

Therefore the observation of the strength behaviours under the fluctuating stress state is very important in oder to arrange the safety use of grinding wheels.

Then we tried the repeating tensile test of vitrified test pieces which were quarried from vitrified grinding wheels and other few test about them.

Grinding wheels used in this experiment are grain A, grain-size 60 and grade I. L. O. R.

The results are as the following,

- (1) The results of centrifuge test are shown in Fig.4.
- (2) The results of statical tensile test are shown in Fig.5,

where
$$\sigma_t = \frac{P_t}{A} \quad [\text{kg/cm}^2]$$

P_t : breaking load in statical tensile test [kg]

A : effective sectional area [cm²]

- (3) In the repeating tensile test we tried one-side repeating tensile test with the stress amplitudes which were about onehalf, two-third and four-fifth of the statical tensile strength.

The results are shown in Fig.6-(a), and we found that the dependence of stress amplitude on cycle number up to fracture exists, in other words the vitrified grinding wheels have fatigue behaviour.

- (4) For each stress amplitude, non-fracture probability is shown in Fig.7 (a), (b), (c), (d), where non-fracture probability is defined as the following.

* 機械研究部 Mechanical Division

$$P = \frac{M - M_f}{M}$$

M : number of test pieces which are tested under given stress amplitude
 M_f : number of fractured test pieces which are tested under the given stress amplitude

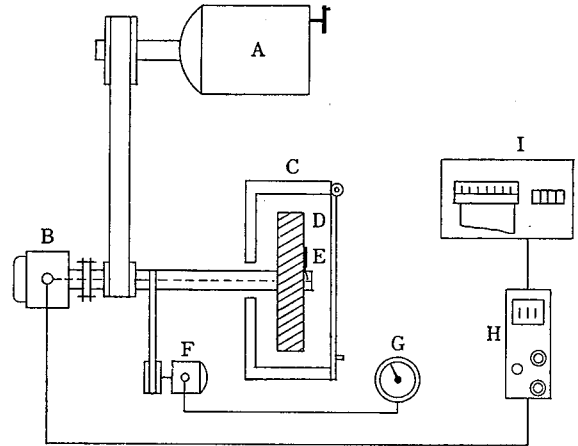
1. 緒 言

研削砥石は、回転速度の変化やその他の条件により種々な変動応力を発生するものと考えられる。例えば

- (1) 通常使用の場合においては
 - a) 停止状態から定格回転までの変動応力（試運転時）
 - b) 停止状態から定格回転までの変動応力+研削負荷変化による変動応力（研削作業時）
- (2) 強度保証試験の場合においては、停止状態から試験速度までの変動応力（強度保証の回転試験時）などがあり、そして全ての運転中において機械的振動によって発生する変動応力が加味されるであろう。

Fig.1 に示す実験装置を用いて回転中の平形砥石に発生する歪測定を試みたが、その測定記録を Fig.2 に示す。この実験では、外径 205mm×厚さ 25mm×内径 30mm のレズノイド平形砥石の半径 24.1mm の位置に電気抵抗線歪ゲージを貼付し、円周方向の歪を測定したものである。曲線①は、無負荷空転の場合の記録であり可変速モータを手動により比較的ゆるやかに増速し、0~5000rpm までを 1000rpm 毎に歪を測定した記録である。4000rpm（周速 2575m/min）の場合では、歪は 81.8μ （応力に換算して約 20.6 kg/cm^2 の引張応力）となる。曲線②は、やはり空転の場合ではあるが予め砥石軸を 4000rpm になるようにモータを設定し、電源の ON-OFF によって砥石の急回転（図中 A 点：電源 ON）、急停止（図中 B 点：電源 OFF）を行った場合の歪測定の記録である。4000rpm では、

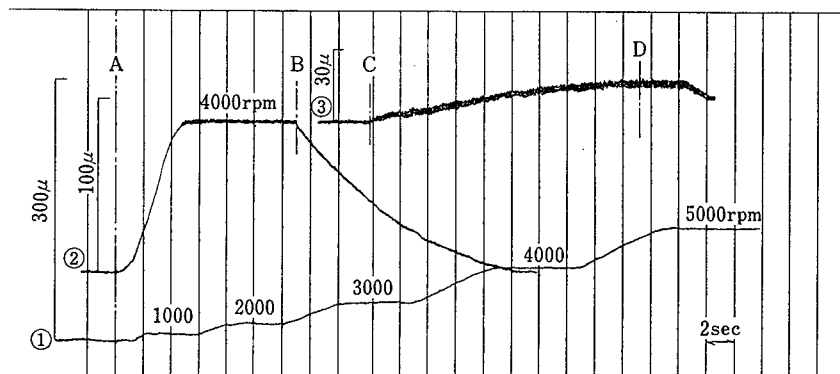
82.5μ （応力に換算して約 20.8 kg/cm^2 の引張応力）となっており、急回転によるオーバーランの現象は表われなかった。また曲線③は、4000rpm の回転中に砥石外周に近い側面に中型ドライバーの先端を押しつけて軽研削を行った場合の歪の測定記録である（この実験においては、平形砥石の外周面には温度補償用のダミーゲージを貼付していたため、外周部での研削は



- A Adjustable speed motor (3HP)
- B Slipring
- C Safety guard of rotary testing machine
- D Grinding wheel as test piece
- E Strain gage
- F Tachometer generator
- G Tachometer
- H Dynamic strain meter
- I Oscillograph

Fig.1 Diagram of centrifugal strain measuring system

遠心歪み測定装置の概要



Test piece : 205×25×25.4 (Resinoid G. W.)
 Measuring point : $r=25.1$
 Strain direction : tangential strain

Fig.2 Examples of oscillograph when fluctuating strain is measured.
 変動歪みの実測オシログラフの例

行えず、側面での軽研削を試みた)。図中C点より研削を始めているが、C点以前の歪に比べD点における歪は 15.7μ 。(応力に換算して約 4.0 kg/cm^2 の引張応力) ほど増加している。以上の円周方向歪(または応力)は半径 24.1 mm の点の測定結果であるが平形砥石の内周部(半径 15 mm の点)では回転円板の応力式によると約1.46倍(例えば、前述の 4000 rpm の空転時では、約 30.1 kg/cm^2 の引張応力)になると推定される。

以上のような変動応力状態における砥石の強度的挙動を知ることは、砥石の安全な使用をはかるために重要な事柄である。そこで筆者らは、ビトリファイド砥石について繰返し引張試験を行い、その強度的挙動を知ると共に1、2の関連実験を行ったので、ここに報告する。

2. 実験

2.1 試験片

繰返し引張試験片(引張試験片も同様)の形状寸法は、Fig.3に示すとおりで、厚さ 25 mm 、長さ約 160 mm 、最小幅が 25 mm で半径 $50R$ のくびれをもつ形状とした。また回転試験片は、外径 305 mm × 厚さ 25 mm × 内径 30 mm の平形砥石である。なお、引張試験片は、回転試験片と同一ロットの平形砥石から、焼成前に切出したものである。これら試験片の仕様は砥粒A、粒度60、結合度(呼び)I, L, O, Rの4種類である。なお結合度については、大越式研削砥石結合度試験機を用い荷重 50 kg で測定した結果をTable 1に示す。この中で結合度記号Lのものは、JIS規格によるとMに相当するものである。

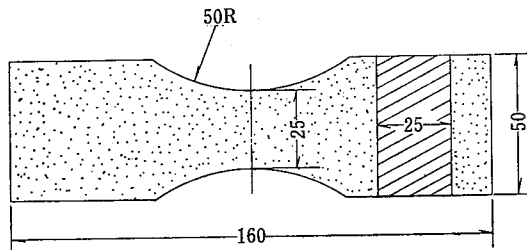


Fig. 3 The shape of test piece for repeating tensile test
繰返し引張試験片の形状

Table 1 Grade of test pieces
試験片の結合度

Grade	I	L	O	R
depth of bit (mm)	0.72	0.48	0.37	0.25

2.2 実験装置および実験方法

繰返し引張試験には、東洋測器社製の 10 Ton 用万能型引張試験機テンシロンを用い引張速度毎分 $30\sim 40\text{ mm}$ で試験を行った。繰返しのサイクルは毎分 $2\sim 3$ 回であり、試験機の制御パネルにより荷重制御方式で試験を行った。なお、試験片のチャックは、両面から厚さ 3 mm のパッキン用硬質板ゴムを添えチャッキングによる砥石の損耗を防止した。

回転試験は、当研究所の大型研削砥石回転試験機(最高回転数 $10,000\text{ rpm}$ 、動力 3 HP AS モータ)を用いモータ速度を手動ハンドルにより操作し、試験機回転数を徐々に上げ砥石の遠心破壊回転数を測定した。

3. 実験結果および考察

3.1 回転試験

本実験に用いた平形砥石の遠心破壊周速度は、Fig. 4に示す通りであり、各結合度毎に5個の試料を用いて測定を行った。

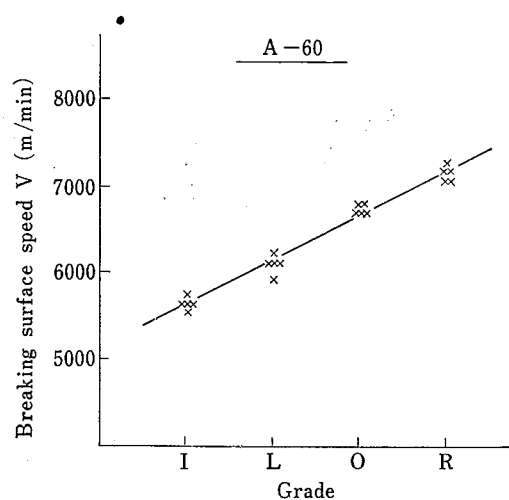


Fig. 4 Breaking surface speed in centrifugal test

遠心破壊周速度

破壊周速度の平均 v_{mean} および変動係数 $C.V.$ は、次のとおりである。

- I : $v_{\text{mean}}=5,650\text{m/min}$ (C. V. =0.012)
- L : $v_{\text{mean}}=6,109\text{m/min}$ (C. V. =0.017)
- O : $v_{\text{mean}}=6,741\text{m/min}$ (C. V. =0.008)
- R : $v_{\text{mean}}=7,162\text{m/min}$ (C. V. =0.011)

3.2 引張試験

繰返し引張試験を行うにあたり、各試料の引張強さを知るために各結合度毎に5本の試験片を用いて負荷速度 1mm/min で静的な引張試験を行いその破断荷重 P_t を測定し、次式によって引張強さ σ_t を求めた。

$$\sigma_t = \frac{P_t}{A} \quad [\text{kg/cm}^2]$$

ここに P_t : 静的引張破断荷重 [kg]

A : 引張試験片の最小断面積 [cm^2]

Fig. 5 にその試験結果を示す。引張強さの平均値 $\sigma_{t\text{mean}}$ および変動係数 C. V. は、各結合度別に示すと、

- I : $\sigma_{t\text{mean}}=90.8\text{kg/cm}^2$ (C. V. =0.038)
- L : $\sigma_{t\text{mean}}=127.4\text{kg/cm}^2$ (C. V. =0.115)
- O : $\sigma_{t\text{mean}}=134.0\text{kg/cm}^2$ (C. V. =0.043)
- R : $\sigma_{t\text{mean}}=154.8\text{kg/cm}^2$ (C. V. =0.048)

となり、結合度Lの試料は比較的バラツキがあるが、引張強さと結合度との間には、遠心破壊周速度と結合度との間と同様に、ほぼ直線関係があった。

3.3 繰返し引張試験

繰返し引張試験は、静的な引張強さのおよそ 1/2, 2/3, 4/5 の応力振幅で片振りの繰返し試験を行いビト

リファイド砥石の引張応力振幅と破断繰返し数との関係を求めた。なお、この片振り繰返し引張試験における変動応力は、例えば研削盤の起動停止の際に研削砥石に発生する変動応力に相当するものと考えられるので、仮りに研削盤の起動停止の動作が多い場合として1日当り20~30回、また同一砥石の使用期間を1年間と仮定し本実験における最高繰返し数は、 10^4 回とした。

各結合度 I・L・O・R の試料についての繰返し引張試験結果をまとめてプロットすると Fig.6-(a) のとおりである。これらによると、繰返し数 10^4 回で破断し

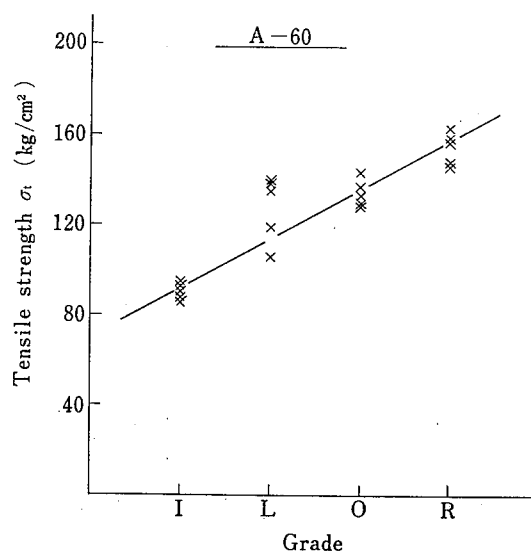


Fig.5 Tensile strength of the vitrified test pieces
ビトリファイド砥石の引張試験

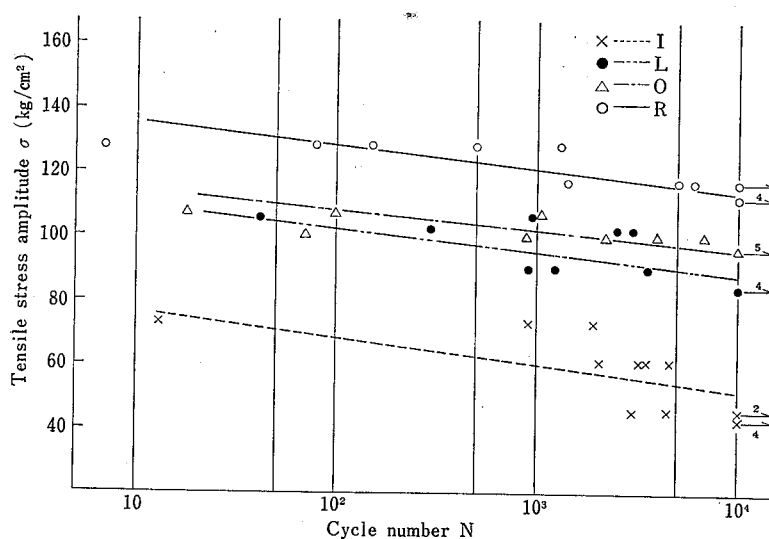


Fig.6-(a) The experimental results of repeated tensile test
繰返し引張試験の結果

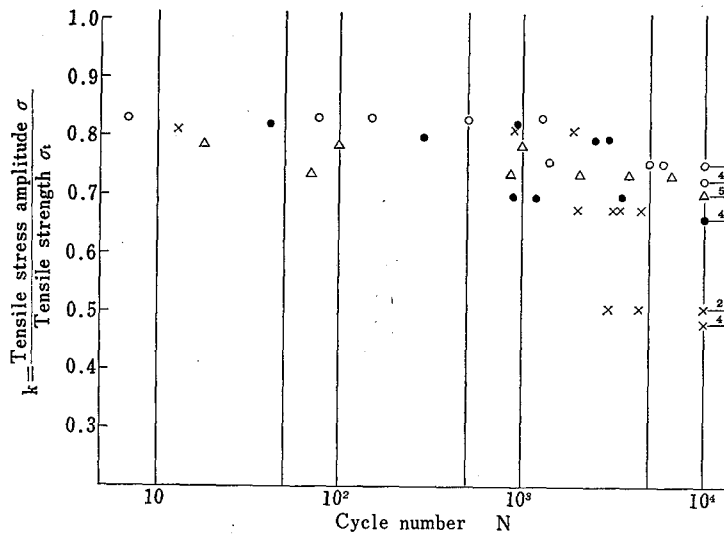


Fig. 6-(b) The experimental results of repeating tensile test
繰返し引張試験の結果線

ない最大の応力振幅は

- I : 43.2 kg/cm²
- L : 84.8 kg/cm²
- O : 96.0 kg/cm²
- R : 112.0 kg/cm²

となっている。また各結合度については、ゆるやかな勾配をもった直線の傾向を呈していることがわかる。

Fig. 6-(b) は、繰返し引張試験の結果を、縦軸に各結合ごとの引張強さに対する繰返し引張応力振幅の比 k をとって表示したものである。これによると、 10^4 回で破断しない引張応力振幅の引張強さに対する最大の比は、結合度 I の試料は、ほぼ 0.5 であり、結合度 L, O, R の場合は、0.65~0.75 となっている。ところで Fig. 6-(b) におけるデータ全体について、繰返し数の 2 回~3,500 回と、3,501 回~7,000 回の 2 つの領域に関して、 k の平均値差の検定を行ってみたところ、有意水準 5% で有意である結果が得られた。従って、本実験において、ビトリファイド砥石には、繰返し引張荷重に対する破壊強度に繰返し数依存性がみとめられる。

次にある繰返し数までに試料が破壊しない確率を非破壊確率 P と呼ぶこととし、次式で P を求めた。

$$P = \frac{M - M_f}{M}$$

ここに M : ある応力振幅で実験した試料数

M_f : M と同条件の実験で、ある繰返し数 N までに破壊した試料数

繰返し数 N と非破壊確率 P についてプロットすると Fig. 7 の (a)~(d) の如くなる。すなわち繰返し数が 10^4 回および 10^3 回における非破壊確率 $P=100$ のときの応力振幅 σ の最大値は、各試料について Table 2 のとおりである。しかし、これら P の値については実験結果によって算出したものであり、その信頼性については本報では十分な検討は出来なかったが、一つの実験的参考値として利用できるものと考えらる。

Table 2 Cycle number and maximum stress amplitude as the non-fracture probability $P=1.0$
非破壊確率 $P=1.0$ の場合の繰返し数 N と応力振幅 σ の最大値

Grade	Cycle number N	
	10^3	10^4
I	60.8	43.2
L	84.8	84.8
O	96.0	96.0
R	116.8	112.0

(kg/cm²)

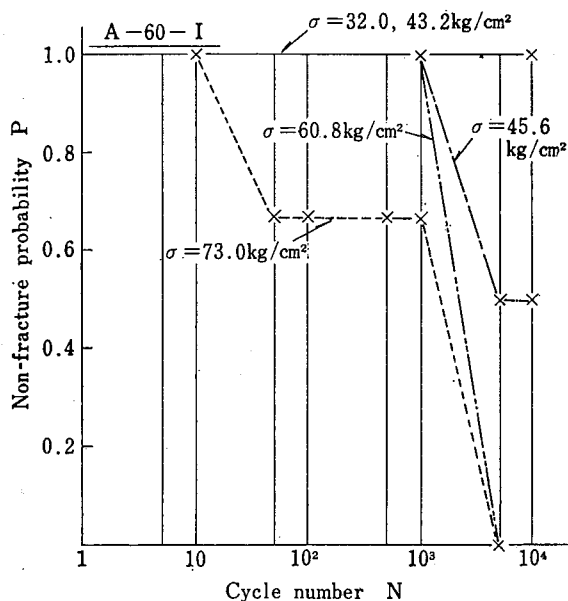


Fig.7 (a)

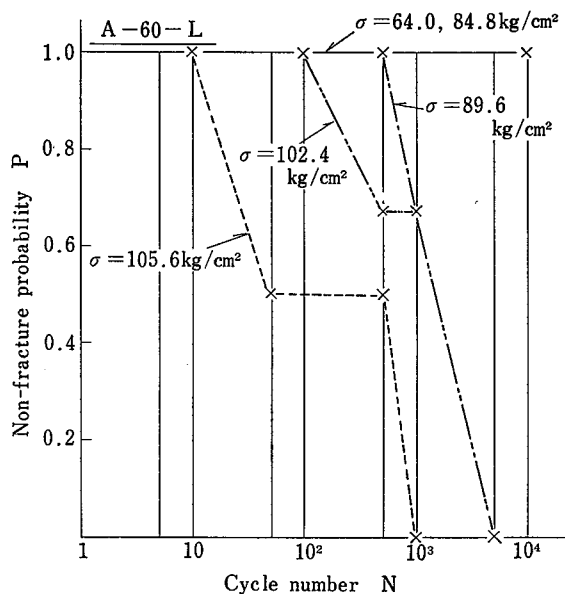


Fig.7 (b)

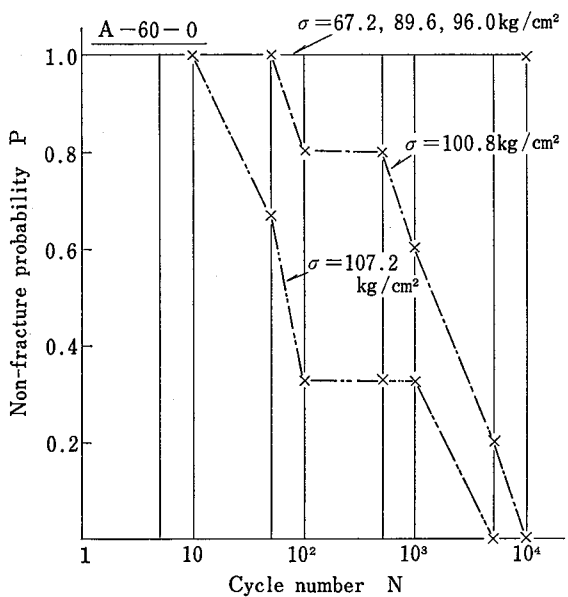


Fig.7 (c)

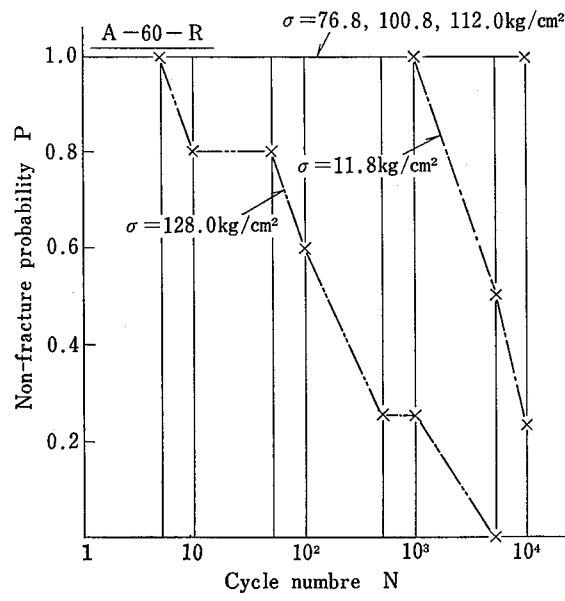


Fig.7 (d)

Fig.7 Cycle number and the non-fracture probability
返し数と非破壊確率

4. 結 言

本研究は、ビトリファイド砥石の変動応力下における破断強度の挙動について片振り繰返し引張試験によって実験的な追求を行ったものであるが、以上の実験結果からビトリファイド砥石について、その破断強度

は荷重繰返し数に対して依存性があり、繰返し数が増大する程、破断強度が低下する傾向が得られた。しかしながら、鋼材などの疲れ現象において表われることのある疲れ限度に相当するものは得られなかった。

付録 強度保証の回転試験倍数についての検討

研削砥石の強度保証のための回転試験の倍数については、研削盤等構造規格第10条によって最高使用周速度の1.5倍とすることに定められているが、この試験を行った後の研削砥石の使用について支障の有無を検討し、試験倍数1.5の妥当性を確認する。

ここで回転中の研削砥石に遠心力によって発生する応力について考えてみると、中心孔を有する厚さ一定の回転円板の場合の周方向応力 σ_θ は、(A-1)式で与えられる。

$$\sigma_\theta = \frac{3+\nu}{8} \frac{\gamma}{g} \left\{ a^2 + b^2 - \left(\frac{1+3\nu}{3+\nu} \right) r^2 + \frac{a^2 b^2}{r^2} \right\} \omega^2 \quad \dots\dots\dots (A-1)$$

- ここに ν : ポアソン比
- γ : 円板の単位体積重量
- g : 重力加速度
- r : σ_θ の発生点までの半径
- a, b : 円板の内外半径
- ω : 円板の回転角速度

最大応力説では (A-1) 式から得られる周方向応力の最大値 $\sigma_{\theta max}$

$$\sigma_{\theta max} = (\sigma_\theta)_{r=a} = \frac{3+\nu}{4} \frac{\gamma}{g} \left(b^2 + \frac{1-\nu}{3+\nu} a^2 \right) \omega^2 \quad \dots\dots\dots (A-2)$$

によって、また平均応力説では、周方向応力の平均値 $\sigma_{\theta mean}$

$$\sigma_{\theta mean} = \frac{\int \sigma_\theta dr}{b-a} = \frac{1}{3} \frac{\gamma}{g} (b^2 + ab + a^2) \omega^2 \quad \dots\dots\dots (A-3)$$

によって、回転円板の破壊応力が与えられるとされている。

A-1 普通使用周速度を最高使用周速度とした場合について

ビトリファイド砥石の最高使用周速度を研削盤等構造規格の普通使用周速度により、2,000m/min とすると、強度保証のための回転試験速度は1.5倍の3,000m/min となる。そこで周速度3,000m/min の場合の各結合度毎の最大応力を (A-2) 式より、また平均応力を (A-3) 式より求めてみると Table A-1 に示すような値となる。

Table A-1 Maximum and mean of estimated tangential stress as the speed is 3,000m/min.

周速度3,000m/min における周方向応力の最大推定値と平均推定値

Grade	Weight per unit volume of wheels	Tangential stress (kg/cm ²)	
		$\sigma_{\theta max}$	$\sigma_{\theta mean}$
I	1.94×10 ⁻³	39.8	18.0
L	2.06	42.2	19.1
O	2.23	45.7	20.7
R	2.22	45.5	20.6

Abrasive : A Grain size : 60

従って、本文の Table 2 に示したように繰返し引張試験において繰返し数 10⁴ 回で破壊のおそれのない最大の応力振幅は、周速度3,000m/min における周方向応力の平均値 $\sigma_{\theta mean}$ および最大値 $\sigma_{\theta max}$ よりも大きい値であるので、普通使用周速度の1.5倍の回転試験は十分な余裕をもってその後の砥石の使用に対し影響を与えないと考えられる。

A-2 遠心破壊速度の1/2を最高使用周速度とした場合について

本実験においては回転試験として同一種類の砥石を5個用いたが、その遠心破壊周速度の最低値 V_B を基準にして、その1/2を最高使用周速度 V とした場合における1.5倍の回転試験について検討を行ってみる。各結合度毎の試料の V および $1.5V$ における $\sigma_{\theta mean}$, $\sigma_{\theta max}$ は Table A-2 に示すとおりである。

Table A-2 Maximum and mean of estimated tangential stress as the speed is the operating speed multiplied by 1.5

遠心破壊速度の1/2を最高使用速度とした場合の1.5倍の回転試験速度における周方向応力の最大推定値と平均推定値

Grade	V (m/min)	1.5V (m/min)	Tangential stress (kg/cm ²)	
			$\sigma_{\theta max}$	$\sigma_{\theta mean}$
I	2,777	4,166	76.8	34.7
L	2,873	4,309	87.3	39.4
O	3,352	5,027	128.6	58.0
R	3,543	5,314	146.2	66.0

V : half of breaking speed in centrifugal test. Abrasive : A Grain size : 60

従って、この場合には Table 2 に示すところの繰返し引張試験における繰返し数 10^4 回で破壊のおそれのない最大の応力振幅は、Table A-2 に示す周方向応力の平均値 $\sigma_{\theta mean}$ よりは大い値であるが、最大値 $\sigma_{\theta max}$ より小さい値である。しかしながら、現在のところ平形砥石の回転強度については、引張強さを使った最大応力説と平均応力説の中間的な実験結果が多いとされており、また A-1 および A-2 の場合共に繰返し数 10^4 回における応力振幅 σ と強度保証のための回転試験速度における $\sigma_{\theta mean}$ および $\sigma_{\theta max}$ との比較であるが、この回転試験は一般に 1, 2 度行われる程度であるので、強度保証試験として最高使用周速度の 1.5 倍で回転試験を行うことは、その砥石の強度に影響を与えないと考えられる。なお、この点については、次のような実験を試みたので参考として示す。

砥粒 A, 粒度 36, 結合度 N, 結合剤ビトリファイド, 寸法 $205\phi \times 19 \times 30\phi$ および砥粒 A, 粒度 60, 結合度 I, 結合剤ビトリファイド, 寸法 $305\phi \times 25 \times 30\phi$ の 2 種類の平形砥石をグループ A, グループ B にランダムに分け、前者グループ A は、通常の遠心破壊試験を行ない。後者グループ B は、グループ A の破壊回転数の最低値の 1/2 を 1.5 倍した回転数 n_t で 5 分間定速保持した後停止させ、再び n_t まで増速して 5 分間定速保持した後停止させた後に遠心破壊試験を行った。

その実験結果は、Table A-3 に示す通りであり、グループ A とグループ B の破壊回転数には、差がみとめられなかった。

Table A-3 The strength of grinding wheel with the history

Kind of grinding wheel	Rotating speed at break (rpm)	
	Group A	Group B
A-36-N 205×19×30	8,200	8,000
	8,300	8,100
	8,000	8,300
	8,200	8,300
A-60-I 305×25×30	5,800	5,700
	6,000	6,000
	5,900	5,800
	5,900	6,000

Group A has not the history.

Group B has the history that its speed has twice upped till the maximum operating speed multiplied by 1.5.

以上の実験および検討によりビトリファイド砥石については、強度保証試験として最高使用周速度の 1.5 倍の回転試験は、その後の砥石の使用に差支えないと思われる。
(昭和50年2月19日受理)

産業安全研究所研究報告 RIIS-RR-23-4

昭和50年3月20日

発行 労働省産業安全研究所

〒108 東京都港区芝5丁目35番4号

電話 (03) 453-8441 (代)

印刷所 新日本印刷株式会社

UDC 621.924

ビトリファイド砥石の疲れ強さ

桑川壯一

産業安全研究所研究報告 RIIS-RR-23-5

ビトリファイド砥石の変動応力下における破断強度の挙動について片振り繰返し引張試験によって究明し、ビトリファイド砥石について、破断強度が荷重繰返し数に対して依存性があり、繰返し応力振幅が増大する程、破断繰返し数が減少する傾向が得られた。

(図 11, 表 5)



UDC 621.924

Fatigue of Vitrified Grinding Wheel

S. KUMEKAWA

Research Report of the Research Institute of Industrial Safety RIIS-RR-23-5

We tried one-side repeating tensile test with the stress amplitudes which were about one half, two-third and four-fifth of the statical tensile strength.

From result of the test, we found that the dependance of strength on cycle number of loads, in other words the vitrified grinding wheels have fatigue behaviour.

(11 Figures, 5 Tables)

