

さとうきび脱葉機の脱葉ロールに関する研究

宮部芳照・阿部正俊・小島 新・柏木純孝

(農業機械学第一研究室)

昭和63年 8 月 1 日 受理

Studies on the Stripping-Roll of a Leaf-Stripping-Machine for Sugar Cane

Yoshiteru MIYABE, Masatoshi ABE, Shin KOJIMA

and Sumitaka KASHIWAGI

(Laboratory of Agricultural Machinery I)

緒 言

さとうきびの収穫調製作業の中で労働時間の大半をしめている脱葉作業は労働強度面からみても刈倒し作業につぐ過酷な重作業の一つである¹⁾。そこで、従来より脱葉作業の省力化が鋭意進められ、現在では製糖工場内で一括して脱葉作業を行う工場集中脱葉装置や、ほ場作業機として2・3の形式の脱葉機が開発されてきた²⁾。その中で、金属ロールを使用したドラム型脱葉機は脱葉精度、脱葉能率ともに優れた点をもっているが、未だに脱葉ロールの耐久性に問題点が残されている。

そこで本研究では、金属脱葉ロールについて、その材料および表面処理の違い、さらにはロール表面の蔗汁の有無が脱葉ロールの損耗といかなる関係があるかを実験的に解明し、耐久性のある脱葉ロール開発の基礎資料を得ようとするものである。

実験装置と方法

脱葉ロールの損耗状態を調べるために、回転中の金属ロールに相手材として蔗茎を摩擦させるライダ式摩耗試験機を使用した。またさらに、ロール表面への蔗汁の付着状態を変えるため、蔗茎のみをロールに接触させる乾燥状態の部分と、蔗汁に浸った回転子をロールに接触させることで、ロール表面を常時蔗汁で浸しながら蔗茎を接触させる、いわゆる湿润状態の部分について、ロールの連続損耗実験を行った。その際、蔗茎のロールへの接触面圧は1.16 kgf/cm²で一定とし、供試した蔗茎の性状は Table 1 に示すとおりである。

また、供試した金属ロールはいずれも直径55 mm、長さ500 mmで、モジュール0.3、平均直径に

Table 1. Properties of sugar cane

Variety	N : Co, 310	
Growing district	Campus farm, Kagoshima Univ.	
Mature cane length	(cm)	184~199
Mature cane weight	(g)	765~790
Hardness of stem	(kgf/mm ²)	6.2~7.7
Moisture content (wet base) (%)		75~ 80
Brix	(%)	15~ 19

おけるピッチ0.942 mm、山高さ0.396 mmのロール表面に刻みをつけたローレットロールである。材質は成分上、耐損耗性が高いと考えられるSK 3、SK 5、SCM445、SACM645、SKD11の5種類を供試し、熱処理の方法としてはSKD11以外はいずれも高周波焼入れ、焼戻し(焼入れ温度1050℃、焼戻し温度180℃)を行い、SKD11については高周波焼入れでは焼きむらを起こすおそれがあるので電気炉(1050℃)で焼入れ、空冷した。また、表面処理については材質と極めて関係の深いものであるが、今回はSCM445、SACM645、SKD11について、それぞれガス窒化、イオン窒化およびボロン処理を行って耐損耗性を比較検討した。なお、各金属ロールの化学成分は Table 2 に示すとおりである。

つぎに、各ロール表面のローレット目の断面形状の測定については、形状あらし測定装置(東京精密製)のサーフコム30Cとコンターユニット125Bを組合わせたセットを用いて行い、100×100の倍率で記録計に拡大記録させた。測定時間はそれぞれ0、25、50、100、200、300、400 hr 毎とし、測定箇所は乾燥部と湿润部について、それぞれロール円周面上の4箇所とり、その都度測定箇所をキシレンで洗浄し測

Table 2. Chemical composition of materials

Material	Chemical composition (%)								
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Al	V
SK 3	1.00 ~1.10	<0.35	<0.50	<0.030	<0.030	—	—	—	—
SK 5	0.80 ~0.90	<0.35	<0.50	<0.030	<0.030	—	—	—	—
SCM445	0.43 ~0.48	0.15 ~0.35	0.60 ~0.85	<0.030	<0.030	0.90 ~1.20	0.15 ~0.30	—	—
SACM645	0.04 ~0.50	0.15 ~0.50	<0.60	<0.030	<0.030	1.30 ~1.70	0.15 ~0.30	0.70 ~1.20	—
SKD11	1.40 ~1.60	<0.40	<0.60	<0.030	<0.030	11.00 ~13.00	0.80 ~1.20	—	0.20 ~0.50

定した。また、金属ロールの損耗量の測定については、実際の脱葉作業の場合、2本の隣接する脱葉ロール間の間隙が脱葉精度に大きく影響してくることを考慮して、今回はロールのローレット目の山高さを記録紙上から読みとることにより、ロールの損耗量を次に示す耐損耗率で表した。

$$\text{耐損耗率} = \frac{\text{ローレット目一山の損耗後の山高さ}}{\text{ローレット目一山の損耗前の山高さ}} \times 100 (\%)$$

また、ロールの回転数はドラム型脱葉機の場合、実際の脱葉作業において 300~400 rpm で行われるので、本実験では 400 rpm とし、周速度 1.15 m/sec で実験を行った。

結果と考察

1. ロール材質とロールの損耗との関係

(1) ロール材質として、炭素工具鋼である SK 3, SK 5 の場合の乾燥部におけるロール損耗状態の経時変化を Fig. 1 に示した。

材質 SK 3 の場合は、初期損耗はほとんどみられず、100 時間目で耐損耗率 99.9% であったが、100 時間経過後は損耗が早く進み 200 時間目で 98.8%, 400 時間目で 97.1% を示した。一方、SK 5 の場合は、初期から損耗がみられ 100 時間目で 99.1% を示したが、耐損耗率はほぼ一定割合で低下し、その後 400 時間目では耐損耗率は SK 3 とほとんど同じ 97.0% を示した。両材質のロールの損耗状態を比較した場合、Table 2 でもわかるように炭素含有量の違いの影響が現れているものと考えられ、SK 3 は C が SK 5 に比べてやや多く、硬さは大であるが、靱性が比較的低いいため、初期損耗はほとんどみられなかつ

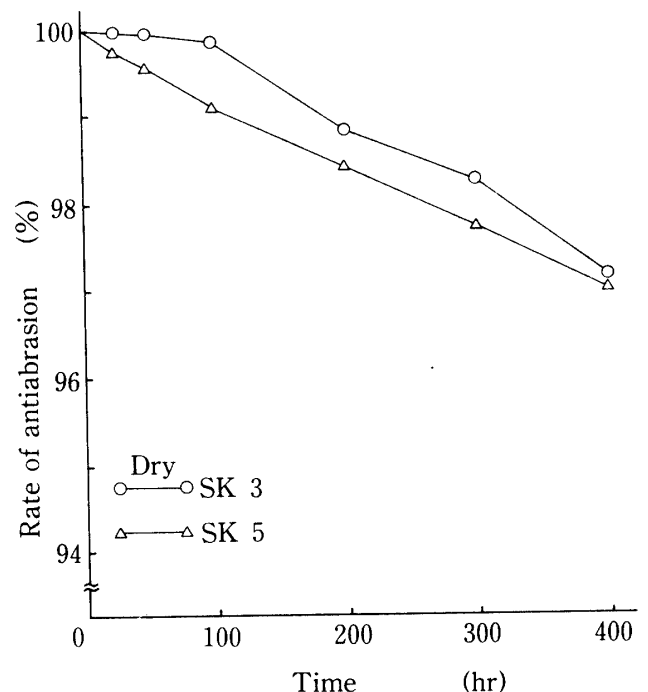


Fig. 1. Changes of antiabrasion with time. (SK 3-dry, SK 5-dry)

たものの、その後の損耗が進み耐損耗率が低下したものと考えられる。

(2) ロール材質として、合金鋼である SCM445, SACM645, SKD11 (いずれもガス窒化) の場合の乾燥部におけるロール損耗状態の経時変化を Fig. 2 に示した。

これら3種類のロール材質の中で、100 時間目までの初期損耗をみると、SCM445 のみが初期損耗がみられ、その他のものは 100 時間目までの損耗はみられなかった。また、SCM445 は前述の炭素工具鋼 SK 5 の損耗状態と類似した傾向がみられ、100 時間目で耐損耗率は 99.2%, 400 時間目で 97.0% を

示した。

SCM445 と SACM645 を比較してみると、SACM645 の方が相対的に高い耐損耗率を示す傾向がみられ、200 時間目で 98.9%、400 時間目で 97.8% であった。これは Table 2 に示すように、SACM645 は SCM445 に比べて Cr の含有量が多く、また Al も含有しており、Al は窒化層の硬さを高める効果があり、また Cr は窒化層を深くする作用があるとともに焼入れ硬化能を増し自硬性を呈し、耐摩耗性を大きくする効果があるとされていること³⁾などから SACM645 の方が SCM445 に比べて高い耐損耗率を示したものと考えられる。

つぎに SKD11 についてみると、この材質は今回

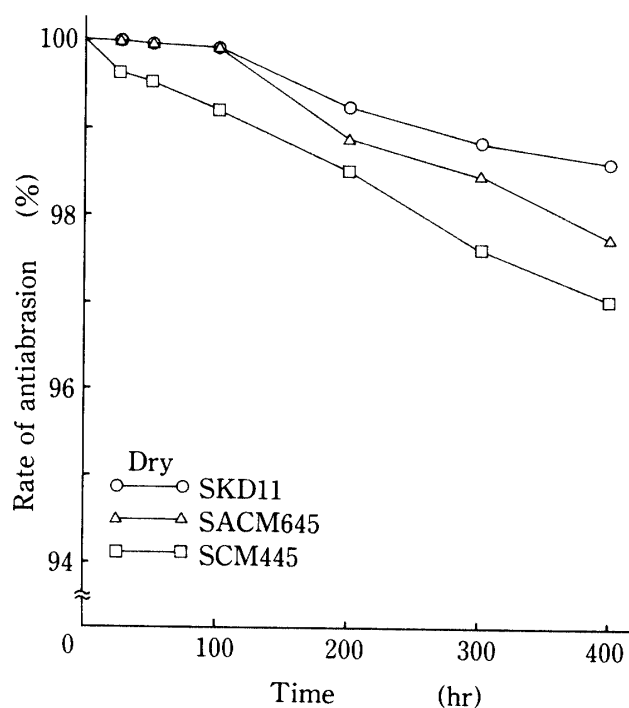


Fig. 2. Changes of antiabrasion with time. (SCM445-gas-dry, SACM645-gas-dry, SKD11-gas-dry)

供試したロール材質の中で高い耐損耗率を示しており、200 時間目で 99.3%、400 時間目で 98.6% の値を示した。SKD11 は C, Cr, Mo の含有量も多く、また V を含有しており、この V は鋼の結晶粒を微細化し、硬さを高め、かつ靱性を高める効果があるので今回供試したロール材質の中でも高い耐損耗率を示したものと考えられる。

2. ロールの表面処理とロールの損耗との関係

今回はロールの表面硬化処理として、ガス窒化およびイオン窒化を行い、また焼入れ性を良くするた

めにボロン処理を行ったが、材質 SCM445, SACM645, SKD11 の場合の乾燥部におけるロール損耗状態の経時変化をそれぞれ Fig. 3, Fig. 4, Fig. 5 に示した。

いずれの材質の場合においても、処理方法の違いによって耐損耗率の経時変化に差異がみられた。例えば SACM645 (Fig. 4) をみてみると、ガス窒化およびイオン窒化では 100 時間目までの初期損耗はほとんどみられなかったが、ガス窒化の場合、200 時間目で耐損耗率 98.9%、400 時間目で 97.8% に対して、イオン窒化の場合、耐損耗率の値はガス窒化に比べてやや高く、それぞれ 99.2%、98.3% であった。一方、ボロン処理の場合、耐損耗率の値は窒化処理に比べて相対的に低い傾向を示し、初期損耗もみられ、100 時間目で 99.5%、400 時間目で 96.6% を示した。また、SCM445, SKD11 についても Fig. 3, Fig. 5 からわかるように、同様な損耗傾向を示し、今回供試した材質の場合、窒化による表面硬化処理を行ったロールの方がボロン処理を行ったものより耐損耗率が高く、また窒化処理の中でもイオン窒化の方が耐損耗率は相対的に高い傾向を示した。

このように同じ材質においても、窒化処理方法の違いによって耐損耗率の経時変化に差が生じた原因

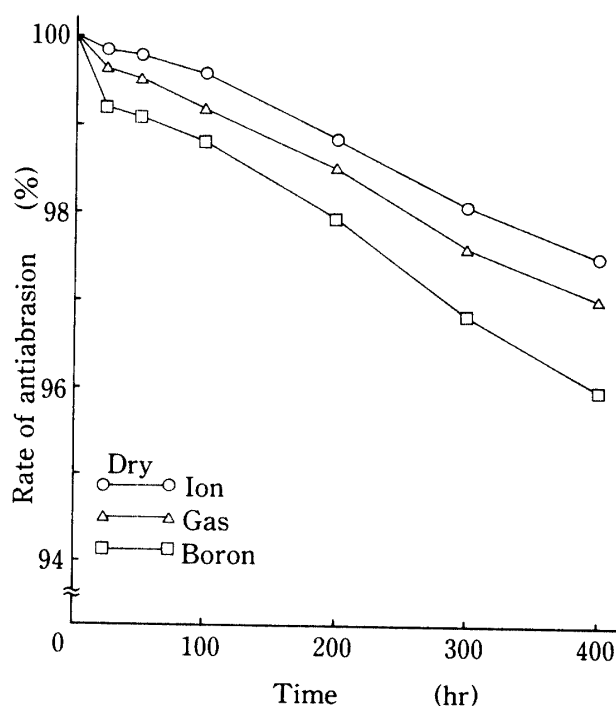


Fig. 3. Changes of antiabrasion with time. (SCM445-gas, ion, boron-dry)

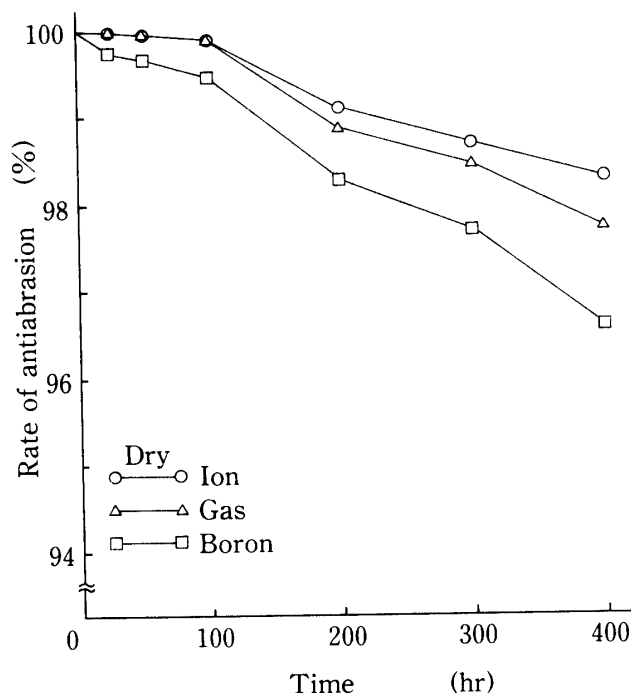


Fig. 4. Changes of antiabrasion with time. (SACM645-gas, ion, boron-dry)

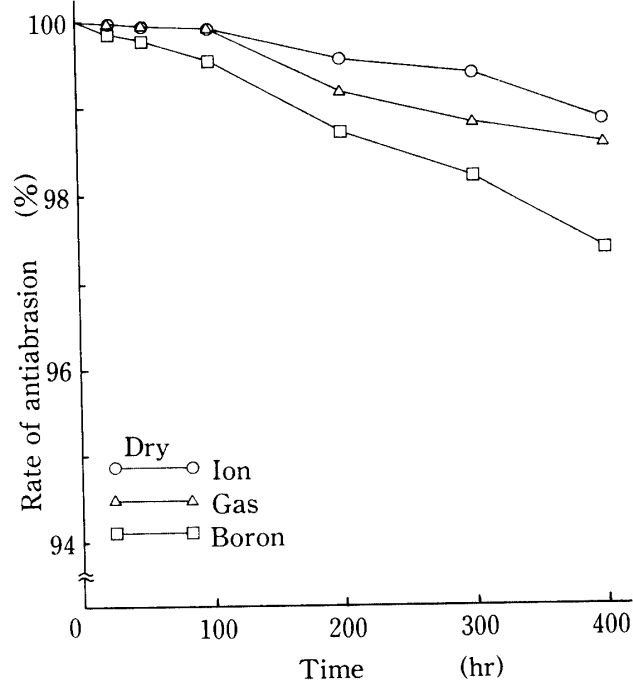


Fig. 5. Changes of antiabrasion with time. (SKD11-gas, ion, boron-dry)

として、イオン窒化法はグロー放電によるイオン衝撃窒化法であり、より低温からの窒化ができ、窒化層の相の調節も可能であることなどから、ガス窒化法に比べて耐摩耗性に大きな影響を与える要因の一つである残留応力をより多く除去することができたためであると考えられる。また、ボロン処理の場合は焼入れ性を良くする効果はあったものの、窒化処理ほどの靱性および耐疲労性が高められなかったために耐損耗率が低下したものと考えられる。

3. 蔗汁の有無とロールの損耗との関係

ロール表面への蔗汁付着状態の違いによるロールの損耗変化を知るために、蔗汁を付着させない乾燥状態と蔗汁を常時付着させた湿潤状態の場合について、それぞれ各材質のロールの耐損耗率について比較検討を行った。

(1) ロール材料として、炭素工具鋼である SK 3, SK 5 の場合の湿潤部におけるロールの耐損耗率の経時変化を Fig. 6 に示した。

材質 SK 3, SK 5 とともに、ロールの損耗変化は同じような傾向を示しており、湿潤部におけるロールの耐損耗率は乾燥部に比べて著しく低い値を示した。例えば SK 3 についてみると、乾燥部では Fig. 1 からわかるように、100 時間目で耐損耗率 99.9%, 400 時間目で 97.1% であったのに比べて、湿潤部 (Fig. 6) ではすでに 100 時間目で耐損耗率 90.0% の初期

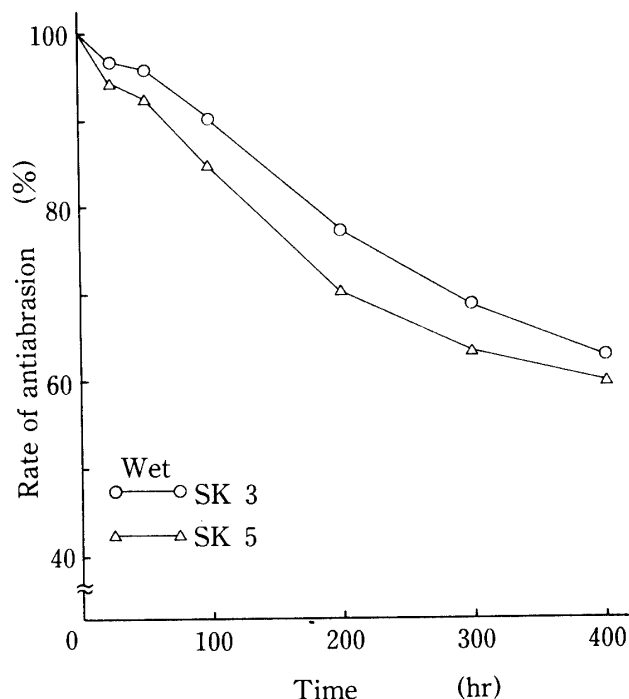


Fig. 6. Changes of antiabrasion with time. (SK 3-wet, SK 5-wet)

損耗がみられ、400 時間目で 62.5% となった。このように蔗汁を付着させた場合、著しく耐損耗率が低下した原因としては、蔗汁によるロール表面の腐食が大きな要因として考えられる。このことは、ロー

ルの摩擦開始後 20 時間経過頃からロール表面にわずかではあるが錆の発生が観察されるようになることなどからもわかる。また、この腐食を促進させるものとして、特に蔗汁中に含まれる水分やその他の化学成分が大きく影響しているものと考えられる。

(2) ロール材料として、合金鋼である SCM445, SACM645, SKD11 のガス、イオン窒化およびボロン処理を行ったロールの湿潤部における耐損耗率の経時変化をそれぞれ Fig. 7, Fig. 8, Fig. 9 に示した。

これら 3 種類のロール材質の場合、表面処理の違いによって差はあるものの、湿潤部におけるロールの耐損耗率は乾燥部に比べて著しく低い値を示した。例えば SCM445 のイオン窒化の場合についてみると、乾燥部では Fig. 3 からわかるように、100 時間目で 99.7%、400 時間目で 97.5% の耐損耗率を示したのに比べて、湿潤部 (Fig. 7) では 100 時間目ですでに 93.2%、400 時間目で 69.3% の耐損耗率を示した。このように蔗汁を付着させた場合、著しく耐損耗率が低下した原因は炭素工具鋼のところで述べたと同じように、蔗汁によるロール表面の腐食が大きな要因であると考えられる。しかしながら合金鋼の場合、炭素工具鋼に比べてやや耐食性があり、また窒化処理による耐食性の効果も若干ではあるが認められた。

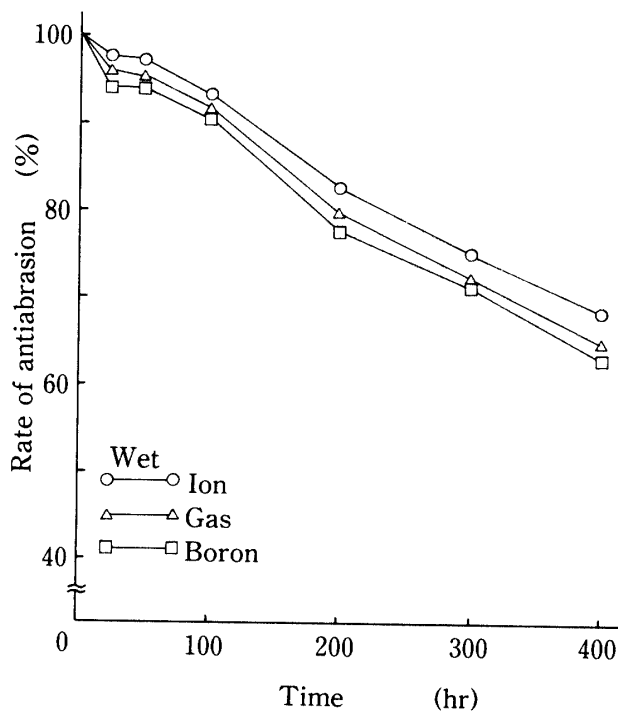


Fig. 7. Changes of antiabrasion with time. (SCM445-gas, ion, boron-wet)

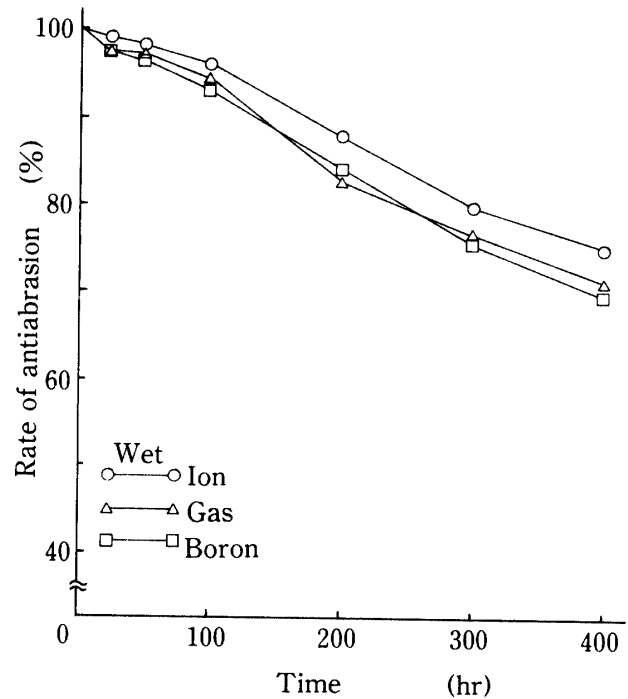


Fig. 8. Changes of antiabrasion with time. (SACM645-gas, ion, boron-wet)

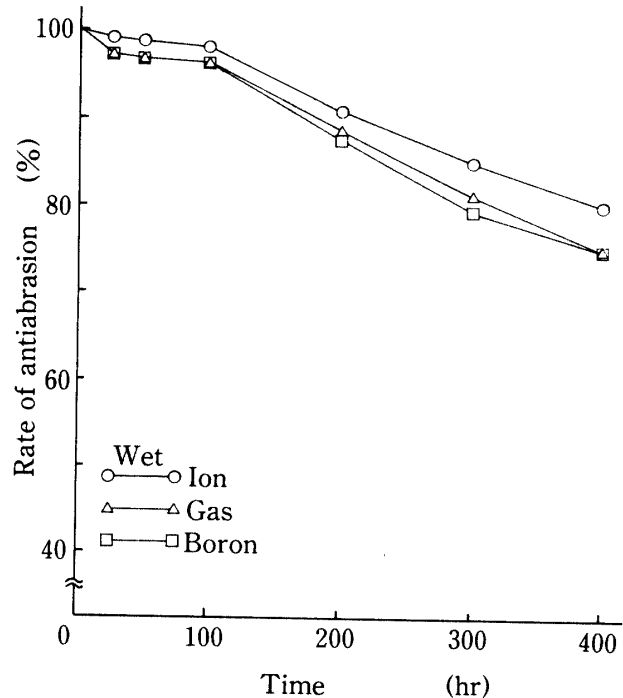


Fig. 9. Changes of antiabrasion with time. (SKD11-gas, ion, boron-wet)

その他の SACM645, SKD11 の場合についても、それぞれ Fig. 8, Fig. 9 からわかるように、窒化による耐食性の効果は若干認められたものの、湿潤部の耐

損耗率は乾燥部に比べて著しく低い値を示した。

また、湿潤部におけるこれら3種類の合金鋼の場合においても、材質SKD11およびSACM645の方がSCM445に比べて耐損耗率は相対的に高い値を示した。例えばSCM445とSKD11のそれぞれイオン窒化処理を行ったロールの場合、Fig. 7, Fig. 9からわかるように、100時間目および400時間目の耐損耗率はSCM445で、それぞれ93.2%と69.3%であったのに比べて、SKD11の場合は98.6%, 80.1%の値を示した。これはCrやAlの含有量の多い材質の方が耐食性が強いいため、耐損耗率が高くなったものと考えられる。

表面処理の違いによっては湿潤部の場合、Fig. 7, Fig. 8, Fig. 9からわかるように、いずれの合金鋼においても、ボロン処理のものはガス窒化のものに比べて耐損耗率の値にあまり差は認められなかった。例えばSKD11の場合、Fig. 9からわかるように、ガス窒化、ボロン処理ともに、100時間目で96.9%, 400時間目で75.0%の耐損耗率を示した。また、乾燥部においては前述したように、ボロン処理の場合、窒化処理に比べていずれも低い耐損耗率を示していたが、このように湿潤部においてガス窒化のものとほとんど同程度の耐損耗率を示したということは、ボロン処理によって耐食性が若干高められたものと考えられる。

以上、ロールの材質、表面処理および蔗汁の有無とロールの損耗との関係についてそれぞれ検討してきたが、今回供試したロール材料の中では合金工具鋼であるSKD11に表面硬化処理としてイオン窒化処理をほどこしたものが、さとうきびの脱葉ロールとしては比較的高い耐損耗率を示した。今後は耐損耗性に大きく影響してくる焼入れ、焼戻し温度についても検討を重ねると共に、さらに長時間の連続損

耗実験を行うことにより、さとうきびの脱葉ロールとして、より高い耐損耗性をもつ材料の開発を進めていく予定である。

要 約

さとうきび脱葉機の脱葉ロールの開発にあたっては、ロールの損耗が大きな問題となっている。そこで、脱葉ロールの損耗機構を実験的に解明するために、摩耗試験装置を使用し、ロールの材質、表面処理および蔗汁の付着状態の違いがロールの損耗にいかなる影響があるかについて検討した。その結果を要約すると次のとおりである。

1. 脱葉ロールの材質としては、炭素工具鋼より合金鋼の方がより高い耐損耗率を示した。
2. 脱葉ロールの表面処理は、窒化処理（イオン、ガス）の方がボロン処理より、特にロールの乾燥状態において高い耐損耗率を示した。
3. 蔗汁の付着状態の違いによっては、蔗汁を付着させることにより、ロールの耐損耗率は著しく低下する傾向を示した。これは蔗汁によるロール表面の腐食が大きな原因として考えられる。
4. 今回供試した材料の中では、SKD11にイオン窒化処理をほどこしたものが高い耐損耗率を示した。

謝辞 金属ロールの製作に便宜をはかっていただいた文明農機株式会社に深く感謝いたします。

文 献

- 1) 宮部芳照・阿部正俊・小島 新：さとうきび収穫調製作業の労働強度および作業能率について。農作業研究, 33, 43-47 (1978)
- 2) 宮部芳照・阿部正俊・小島 新・板倉喜平治・東郷 豊：さとうきび集中脱葉装置の開発に関する研究。農機誌, 40 (4), 533-539 (1979)
- 3) 財満鎮雄：金属材料, p. 97-101, 朝倉書店, 東京 (1972)

Summary

It has been quite important for us to solve the problem how to lessen the abrasion of rolls on the way of the development of a stripping-roll of a leaf-stripping-machine for sugar cane. In order to investigate the mechanism of abrasion occurring on the surface of test rolls of the machine, an experimental apparatus for estimating the abrasion was used. Three factors affecting the abrasion of test rolls were determined as follows: (1) Materials of the rolls, (2) Surface treatment of the rolls, (3) Doping effect of sugar-cane-juice on the surface of the rolls.

The results obtained are as follows.

1. Concerning the materials of the rolls, the abrasion of the carbon tool steels was compared with that of the alloy steels. The latter showed higher resistance than the former.

2. Concerning the surface treatment of the rolls, nitriding-treatment (ion, gas) showed better effect than boron-treatment. Especially, in case of drying of the rolls, the nitriding-treatment added remarkable improvement to antiabrasion of the rolls.

3. Concerning the doping effect of sugar-cane-juice on to the roll surface, abrasion of surface was enhanced remarkably by being put under the doping of sugar-cane-juice. The corrosion on the roll surface affected remarkably the abrasion of the rolls.

4. The nitriding-treatment (ion) in SKD11 roll was fixed to be quite suitable for the practical use.