



Title	バークリーナ・チェンの強度
Author(s)	端, 俊一; HATA, Shun-ichi; 高井, 宗宏 他
Citation	北海道大学農学部邦文紀要, 11(4), 323-335
Issue Date	1979-11-12
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/11927
Type	departmental bulletin paper
File Information	11(4)_p323-335.pdf



バーンクリーナ・チェーンの強度

端 俊一・高井宗宏・伊藤道秋

(北海道大学農学部農業機械学教室)

(昭和54年1月12日受理)

Strength of Barn Cleaner Chain

Shun-ichi HATA, Munehiro TAKAI
and Michiaki ITO

(Laboratory of Agricultural Machinery, Faculty
of Agriculture, Hokkaido University)

緒 言

北海道の酪農経営におけるエンドレス・チェーン式のバーンクリーナの普及はこの数年急激な伸びをみせている。この傾向は他の家畜管理用機械(搾乳用, 給飼用等)の普及と歩を一にしており, 多頭飼育の促進に大きな役割を果していると言えよう。

バーンクリーナは現在各社とも負荷に応じて2~4種類程度の形式のものを用意している。形式の違いはほとんどの場合ドライブユニットの容量の相異である。各社とも負荷の基準としてチェーン全長あるいはガータ全長を用い, 各形式についてそれぞれ適用範囲を定めているが, この基準に適合しているにもかかわらずチェーンが切れたり, 異常に伸びたという故障例は少なくない。その原因は凍結や異物のかみ込み等のはっきりしたもの他に, 通常でもかなり過負荷になっているのではないかと考えざるを得ないものもある。

著者等はこの点に関して実験を行ない, チェンにかかる負荷(引張力)はチェーン全長あるいはガータ全長のみならず, その設置様式によっても大きな影響を受けることを明らかにした¹⁾。また, 全部の形式に同じチェーンを使用しているバーンクリーナも多く, チェンの強度によっては前述の様な故障を起すことも考えられるところである。チェーン強度についての研究は吉田がバッジャー社のものに関して報告しているのみであり²⁾, 各社がチェーンの設計に際しいかなる強度を基準としているかも必ずしも明らかではない。

本報告は市販されているもののうち7種類についてその強度, 材質等について試験し, 現実の設置に関して検

討を行なったものである。なお, 本論に先だち組織検査について助言をいただいた本学工学部・野口 徹助教授に厚く御礼申し上げる次第である。

試 験 方 法

1. 供 試 材 料

本試験に供したチェーンは国産もの2社3種類(A, B, C), 輸入もの4社4種類(D, E, F, G)の計7種類である。主要諸元を Table 1 に示す。チェーンはセンターリンクとボックスリンクを交互に連結した構造を有している。センターリンクは鍛造品であり, ボックスリンクは2枚の鋼板製プレートと2本のピンにより構成され, ピンとプレートはカシメ, ナット止めあるいは溶接によって結合されている。ピンの形状はストレートな円柱状のものと同中央部を細くした円柱状のものがある。エレベータ基部でチェーンが上に約20°ほど曲げられる時のための配慮である。

2. 硬 度 試 験 法

硬度計はロックウェル硬度計(島津製作所製)を使用し, チェン各部の硬度を原材料のままの状態と, 870°C から炉中冷却して焼なましたものについて測定した。測定は1試料につき5点行ない, 平均値であらわした。

3. 組 織 検 査 法

硬度試験結果とともにチェーンの材質や熱処理の状態を把握するため, 硬度試験に使用した試料をサンドペーパーと研磨機により鏡面研磨した後5%硝酸アルコール溶液で腐食し検鏡した。焼鈍試料によりカーボン含量を推定し, 原材料では熱処理法の判定を試みた。

Table 1. The Specification of tested chain

	A	B	C	D	E	F	G
Type	non-classified	regular	heavy duty	non-classified	regular	non-classified	heavy duty
Weight (kg/m)	6.64	5.40	7.06	6.50	4.86	5.76	6.51
Chain Pitch (mm)	230	230	240	230	235	230	210
Center Link							
weight (gr)	739	528	725	680	488	604	582
A (mm)	165	153	167	160	154	157	143
B (mm)	38.4	38.0	47.0	41.0	36.0	38.0	37.0
C (mm)	23.4	20.5	22.0	22.0	27.4	24.5	25.0
D (mm)	11.2	9.6	13.0	12.6	9.4	10.5	13.0
E (mm)	20.2	22.2	24.4	21.2	19.3	20.8	19.9
F (mm)	39.0	35.0	39.5	33.7	39.9	30.9	41.1
Box Link							
weight (gr)	787	714	970	815	654	720	786
fastening	calking	calking	calking	calking	calking	calking	welding
Plate							
G (mm)	160	155	159	159	150	156	143
H (mm)	44.5	38.0	38.0	44.0	39.0	38.0	38.0
I (mm)	5.9	5.7	9.8	6.2	6.5	6.3	8.0
J (mm)	16.0	12.0	16.0	16.0	13.5	17.5	18.6
S ₁ (mm ²)	85	77	122	87	71.5	63	80
S ₂ (mm ²)	168	148	216	174	166	129	155
Pin							
shape	hyperboloid	column	hyperboloid	hyperboloid	column	column	column
K (mm)	29.8	30.0	29.7	26.8	30.5	30.0	32.8
L (mm)	19.2	18.9	18.7	20.3	19.0	18.0	18.6
M (mm)	20.8	18.9	22.2	21.2	19.0	18.0	18.6
S ₃ (mm ²)	201	113	201	201	143	241	272

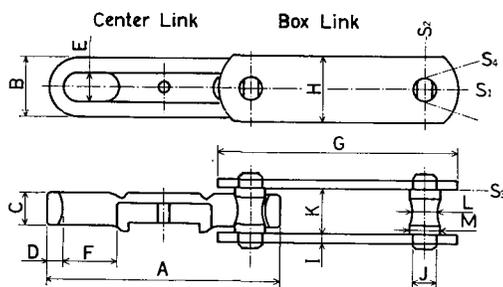


Fig. 1. Barn cleaner chain.

4. 引張試験法

実際の使用状態での引張強度を調べるため、ボックス

リンクの両端にセンターリンクを連結したものを用い、このチェーン両端を NiCr 鋼製の治具を介して引張試験機にとりつけた。引張試験はチェーンが完全に破断し、最大引張強さが得られるまで行なった。引張試験機は島津製作所製万能材料試験機 (容量 30 トン) を使用し、同一種類のチェーンにつき 2 回ずつ試験した。

センターリンクとボックスリンクの伸びは引張試験の前後に全長を測定し算出した。また、試験中のチェーンの状態を VTR に集録し、歪みの箇所、状態を検討した。

試験結果

1. 硬度試験

結果を Table 2 に示す。センターリンクの硬度は全

Table 2. Rockwell Hardness of the Chain

	Center Link		Box Link Plate		Box link Pin	
	original	annealed	original	annealed	original	annealed
A	HRB 94.8	HRB 87.2	HRC 36.6	HRB 92.8	HRC 28.5	HRB 76.8
B	HRB 93.6	HRB 90.8	HRB 75.4	HRB 72.7	HRC 48.8	HRB 81.0
C	HRB 87.6	HRB 84.7	HRB 74.7	HRB 73.8	HRC 50.3	HRB 82.9
D	HRB 99.5	HRB 80.3	HRB 72.3	HRB 48.9	HRB 85.4	HRB 51.3
E	HRB 95.7	HRB 90.0	HRC 22.9	HRB 97.5	HRB 95.9	HRB 81.4
F	HRC 24.2	HRB 84.7	HRC 37.3	HRB 88.6	HRC 34.0	HRB 77.7
G	HRC 37.4	HRB 93.3	HRB 76.4	HRB 76.2	HRB 86.2	HRB 77.9

一般的にそれほど高くないが、GはCスケールで37.4であり、明らかに焼入れ焼戻しを行なっている。ボックスリンクピンはA, B, C, Fの硬度がCスケールで30~50であり、焼入れを行なっていると考えられるが、E, GはBスケールで90前後であり、焼ならしか圧延のままと思われる。またDのピンについては焼鈍硬度がHRB 51.3と極端に低く極低炭素鋼と考えられる。一般に鋼の硬度はその材料の強度と相関があるのはもちろんであるが、摩擦面における摩耗量に直接的に影響する。センターリンクとボックスリンク・ピンの摩擦においてはピンの摩擦面積がセンターリンクのそれよりも小さくなるので、同じ硬さではピンの摩耗の方が大きくなる。従ってピンはセンターリンクより硬くしておかなければならない。DとGはピンの方がやわらかく検討の余地がある。Fは両摩擦面とも硬度が高く、摩耗についての配慮が良くなされている。

ボックスリンク・プレートは耐摩耗性については考えなくても良いので材質の選択や熱処理は強度を増すために行なわれると考えて良い。AとFは明らかに焼入れ焼戻しを行なっている。

2. 組織検査

原材料で熱処理の状況を見ると、試料Aのセンターリンクはフェライトとパーライトの焼ならし組織である。プレートはトルースタイト組織で300~400°Cに焼戻し、ピンはマルテンサイトの焼戻し組織なので200°C程度の焼戻しと思われる (Fig. 2)。

Bのセンターリンクは鍛造のままか焼ならしを行なっており、プレートは圧延のまま、ピンはトルースタイトとマルテンサイトで不完全な焼入組織であるが、表面硬度が高いので高周波焼入で表面硬化処理を行なったため内部がこの様な組織になったものと推定される (Fig. 3)。

CはBと同様な熱処理と推定される。ピンには焼入トルースタイト組織がみられる (Fig. 4)。

Dのセンターリンクにはセメントタイトの粒化が認められ、高温に焼戻したものと思われる。プレートとピンは熱処理のあとがみられない (Fig. 5)。

Eのセンターリンクとプレートは焼戻しソルバイト組織であり高温 (600°C程度) に焼戻したものと思われる。ピンは焼ならし組織であるが、後の引張試験での破壊状態からみると何らかの表面硬化を施している様である。組織検査はピン中央部で行なったので硬化組織はみられなかった (Fig. 6)。

Fのセンターリンクはかなり高温で焼戻してあり、プレートは焼戻しトルースタイトであり、400°C程度に焼戻しているが、ピンは200°C程度の焼戻しと思われマルテンサイト組織である (Fig. 7)。

Gはセンターリンクのみ焼入れ焼戻しをしており、プレートは焼なまし組織である。ピンとプレートが溶接されているためと思われる (Fig. 8)。

以上の結果と焼なまし試料から炭素含有量を推定した結果を Table 3 に示す。特徴的なものについて記述すると、Bのセンターリンクは粒形が若干乱れ気味であり合金鋼の可能性が高い。またピンとプレートは極めて炭素含有量が少なく、チェーン材料としては疑義のあるところである。Eのプレートは明らかに合金組織になっており、JISではSNC 2種程度のものに相当すると思われる。

熱処理 (焼入れ、焼戻し) は強度を高めるためと、摩耗を防ぐのに効果を発揮する。従ってボックスリンク・ピンは後者の点から、またボックスリンク・プレートは前者のために熱処理され、センターリンクは両方を兼ねて熱処理されると考えると、B, Cのピンが高周波焼入れされているのは妥当であろう。またBは軽負荷用なのでそう問題ではないとしてもCやDのプレートは低炭素鋼であり、重負荷用としての強度に疑問がある。センターリンクについてはいずれも高炭素鋼を使用しており、強度

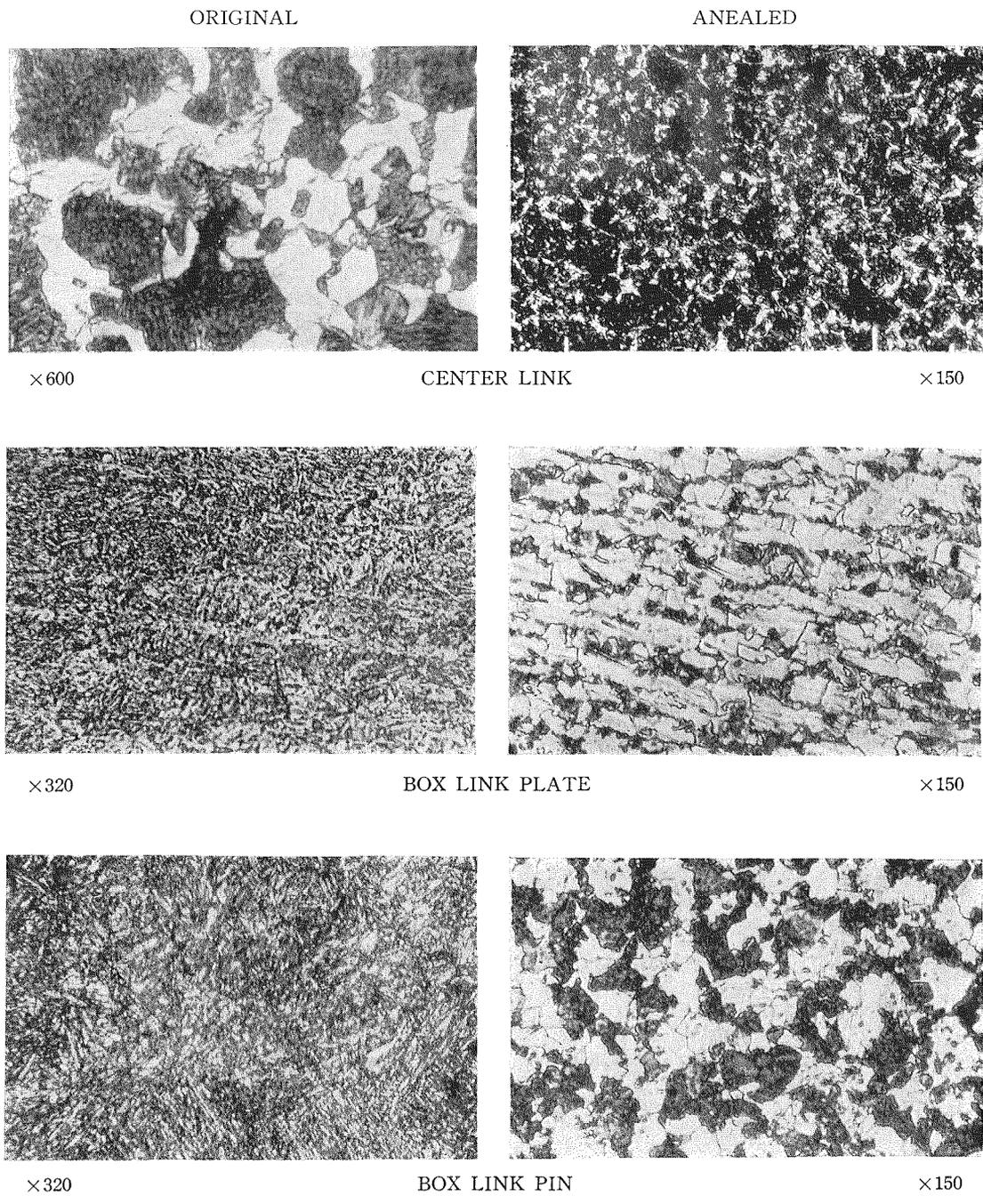
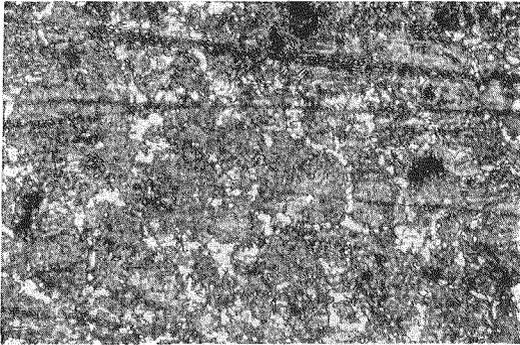


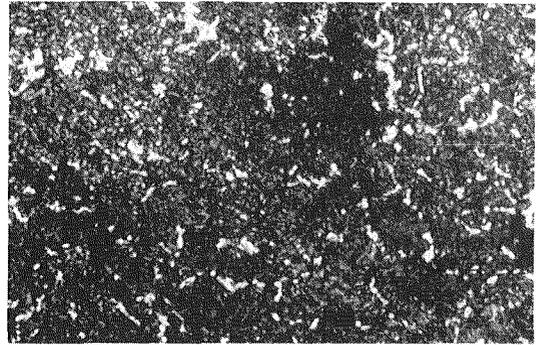
Fig. 2. Microstructure of chain A.

ORIGINAL

ANEALED

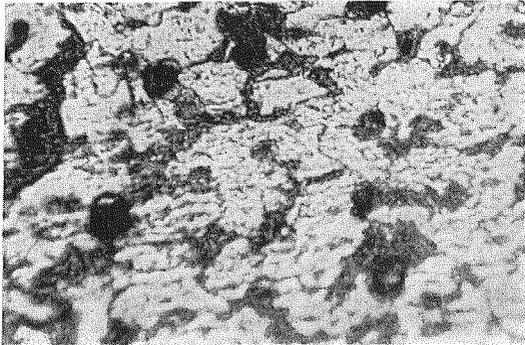


×150

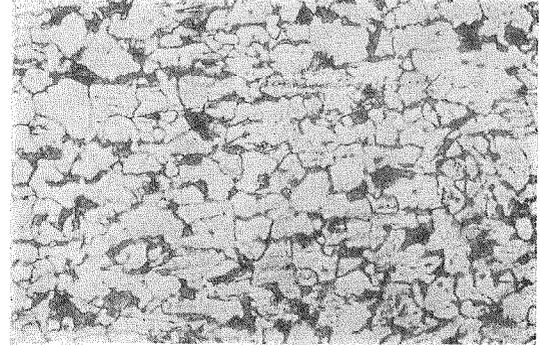


×150

CENTER LINK

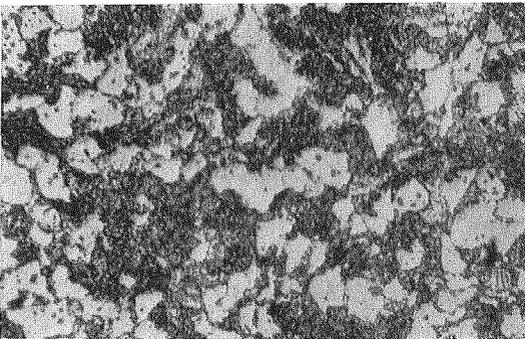


×320

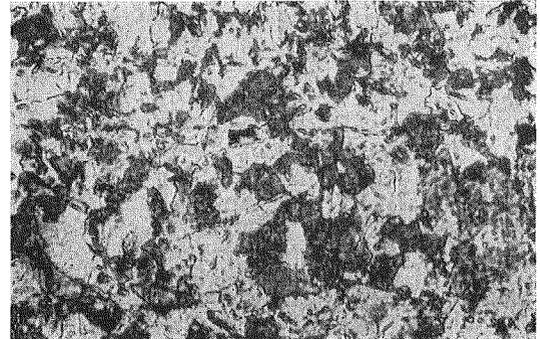


×150

BOX LINK PLATE



×320



×150

BOX LINK PIN

Fig. 3. Microstructure of chain B.

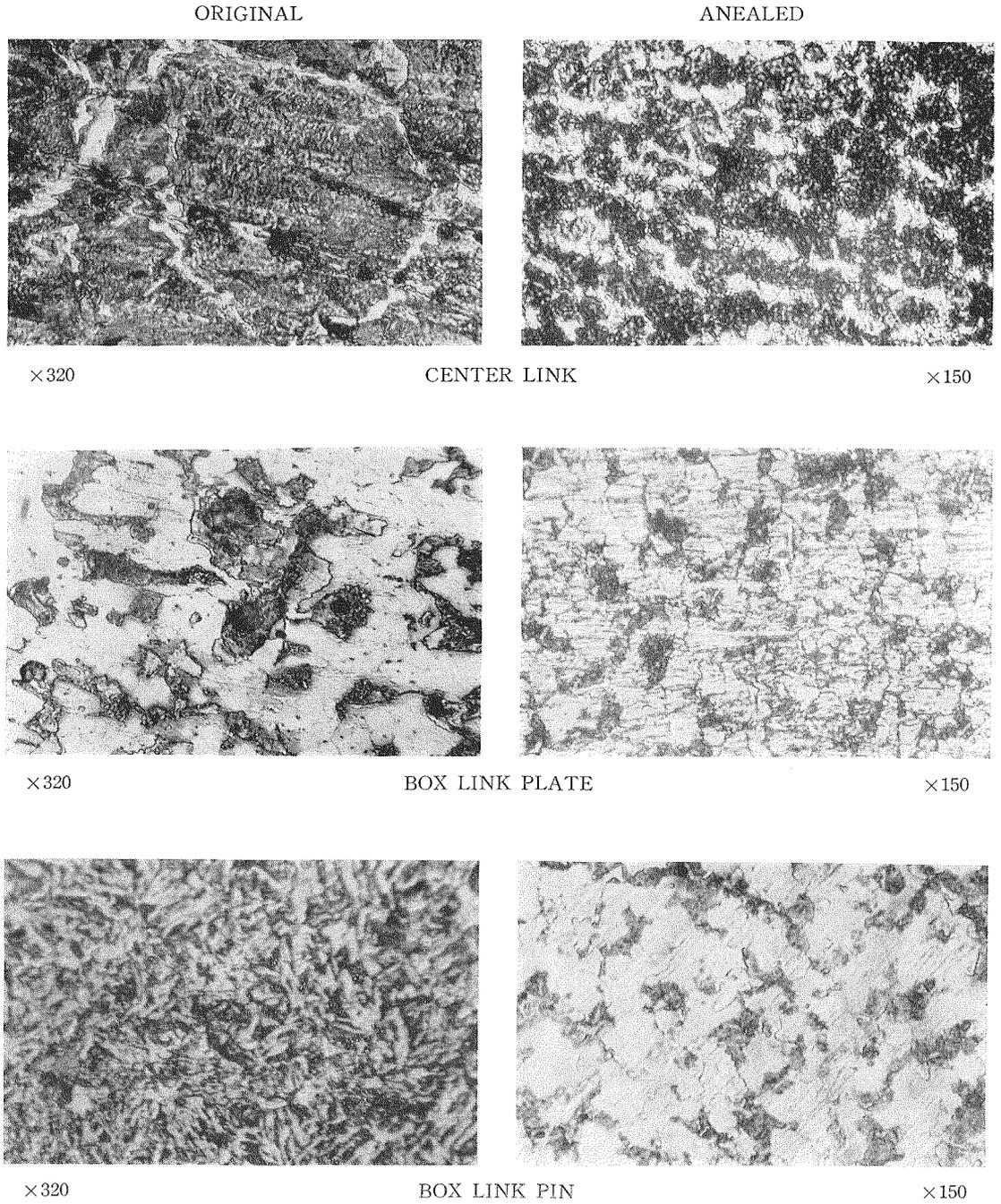
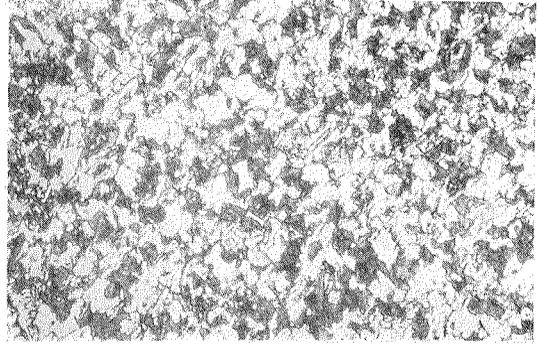
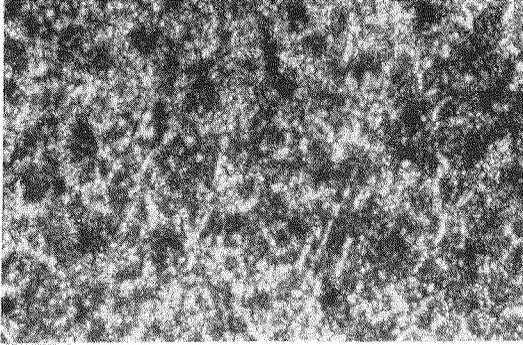


Fig. 4. Microstructure of chain C.

ORIGINAL

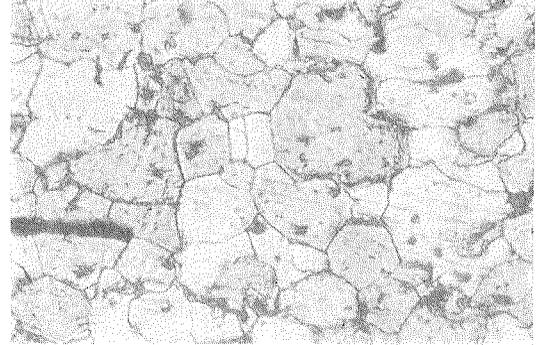
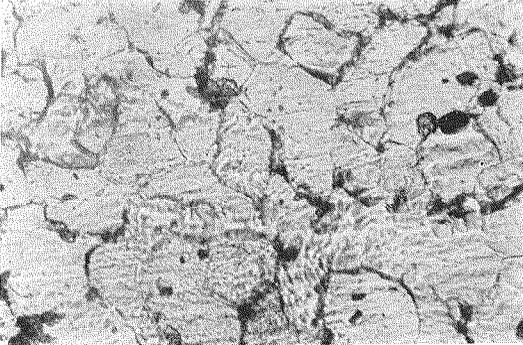
ANEALED



×150

CENTER LINK

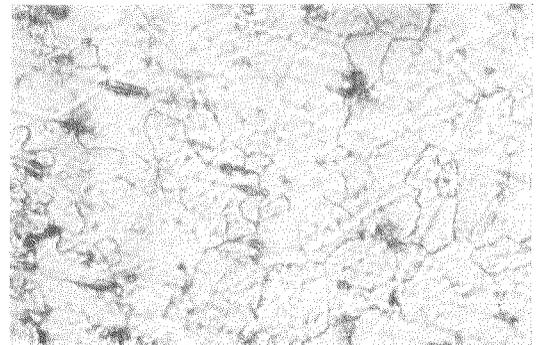
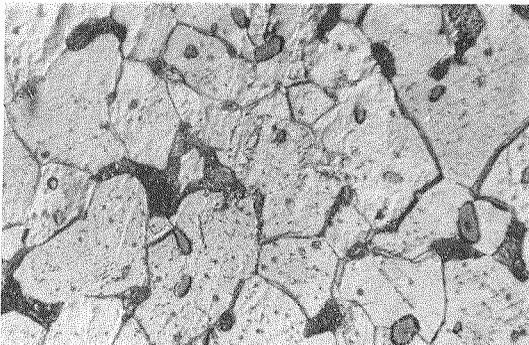
×150



×320

BOX LINK PLATE

×150



×320

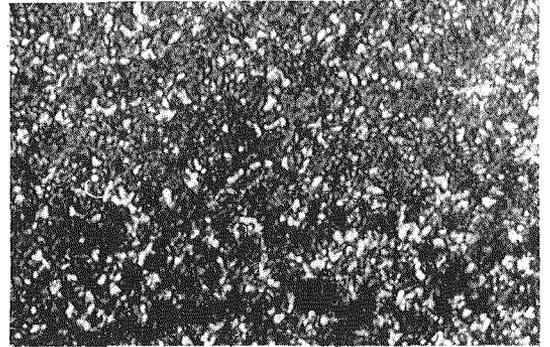
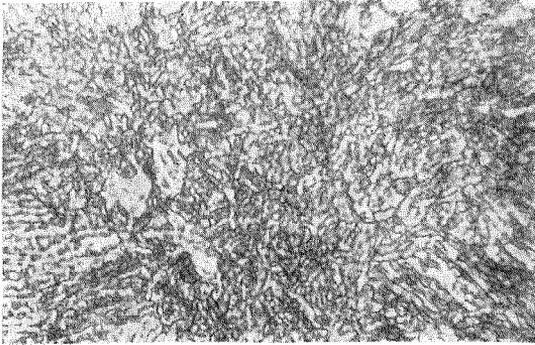
BOX LINK PIN

×150

Fig. 5. Microstructure of chain D.

ORIGINAL

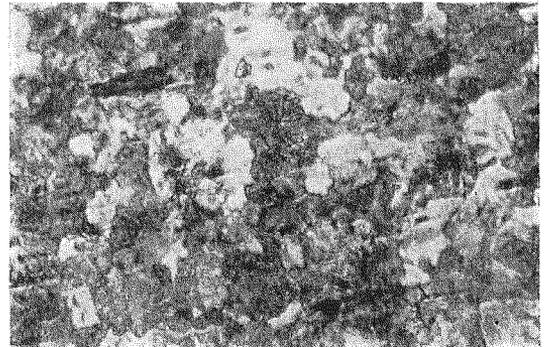
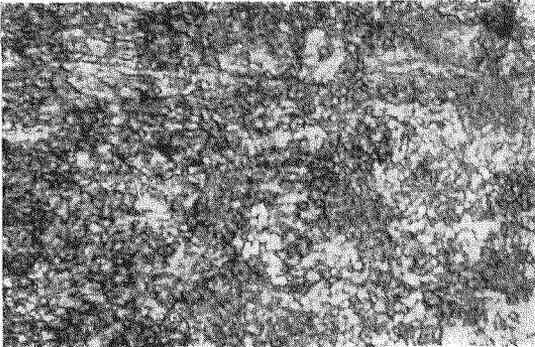
ANEALED



× 600

CENTER LINK

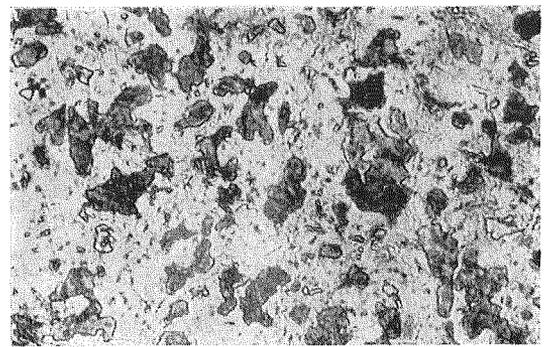
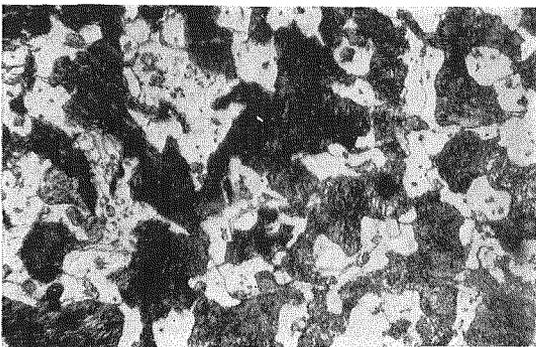
× 150



× 320

BOX LINK PLATE

× 150



× 320

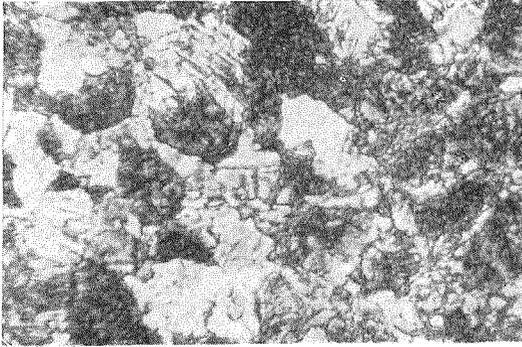
BOX LINK PIN

× 150

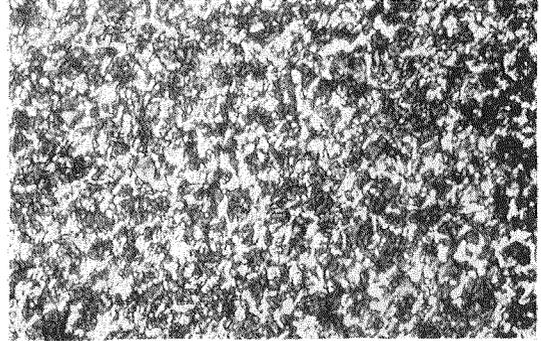
Fig. 6. Microstructure of chair E.

ORIGINAL

ANEALED

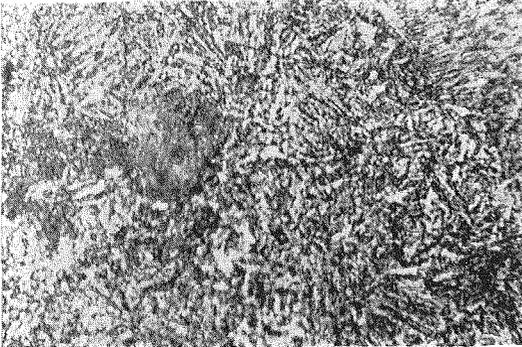


×600

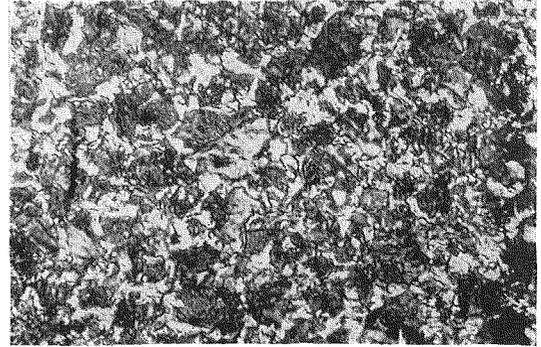


×150

CENTER LINK

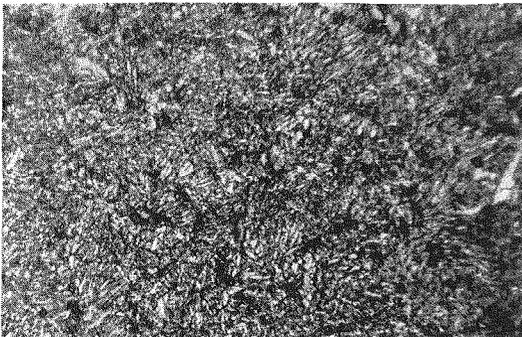


×600

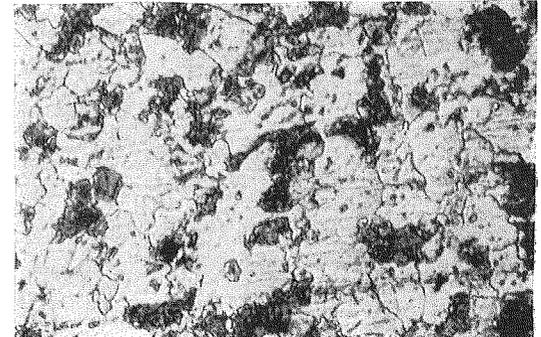


×150

BOX LINK PLATE



×320

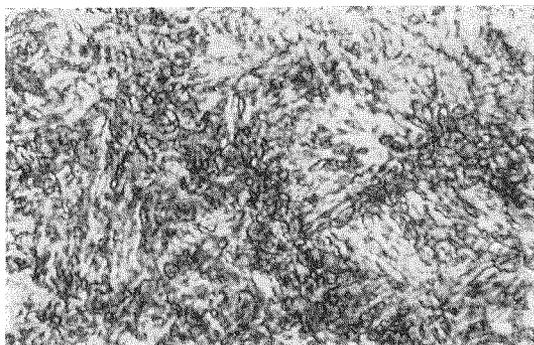


×150

BOX LINK PIN

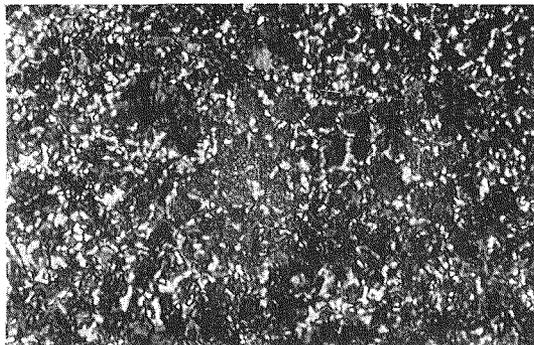
Fig. 7. Microstructure of chain F.

ORIGINAL



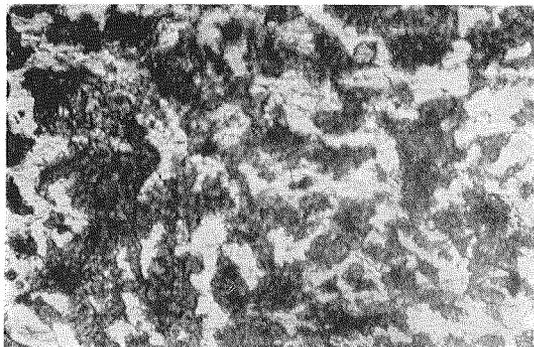
×600

ANEALED

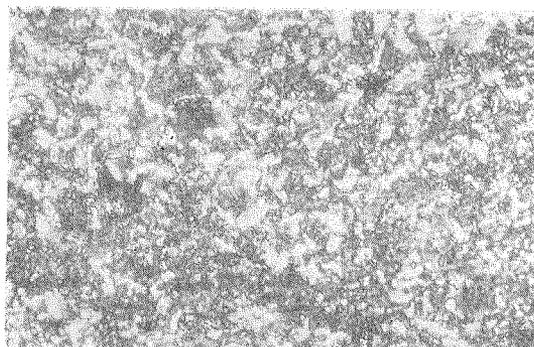


×150

CENTER LINK



×320

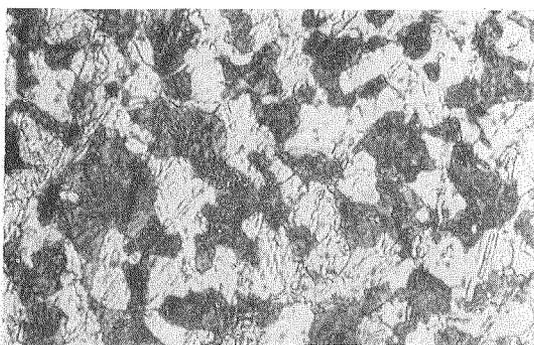


×150

BOX LINK PLATE



×320



×150

BOX LINK PIN

Fig. 8. Microstructure of chain G.

Table 3. Estimation of Carbon-content and Heat-treatment

	Center Link		Box Link Plate		Box Link Pin	
	carbon-content	heat-treatment	carbon-content	heat-treatment	carbon-content	heat-treatment
A	0.50%	HNR	0.25%	HQ, HT	0.35%	HQ, HT
B	0.60	—	0.15	—	0.35	HQI
C	0.45	—	0.20	—	0.25	HQI
D	0.35 (aloy)	HNR	0.10>	—	0.10>	—
E	0.60	HQ, HT	0.25 (aloy)	HQ, HT	0.25	HC
F	0.50	HQ, HT	0.35	HQ, HT	0.30	HQ, HT
G	0.65	HQ, HT	0.40	—	0.35	—

Note; HNR: Normalizing HQI: Induction Hardening HQ: Quenching
 HC: Carbonizing HT: Tempering

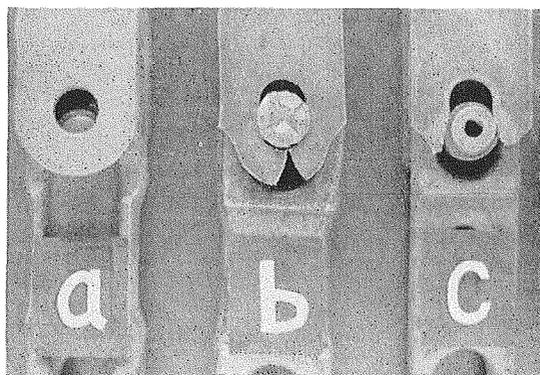


Fig. 9. Example of rupture

- a: Shearing rupture on the Box Link Pin.
- b: Tensile rupture on the Box Link Plate.
- c: Sliding rupture on the Box Link Plate.

Table 4. Result of tension test

	Breaking Load (ton)		Elongation (%)		State of Break ¹⁾	
	1	2	center link	box link plate	1	2
A	25.0	24.9	9.3	1.7	S ₃ /S	S ₃ /S
B	8.8	8.9	0.2	3.5	S ₁ /T	S ₃ /S
C	16.5	15.0	3.0	3.6	S ₁ /T	S ₁ /T
D	10.3	10.9	0.2	4.1	S ₁ /T	S ₄ /SL
E	12.0	12.6	1.4	0.9	PC	PC
F	25.0	—	1.6	2.2	S ₂ /T	—
G	17.7	17.9	0.1	7.9	W	W

Note; 1) S₁, S₂, S₃, S₄ is defined on Fig. 1.

S: Shearing rupture SL: Sliding rupture T: Tensile rupture
 PC: Cracking at pin W: Rupture at welded zone

についての配慮がうかがえる。

3. 引張試験

いずれのチェーンにも降伏点は認められず、また破断荷重が最大引張荷重であった。破断はボックスリンクのピン周辺でおこり、その典型例を Fig. 9 に示す。a はピンがプレート取付部でせん断され、b はプレートの先端がはじけるように引張破壊したもので、c はプレートのピン穴からすべり破壊を起したものである。Table 4 は引張試験結果である。S₁ での引張破壊および S₄ でのすべり破壊はいずれもプレートが熱処理されていない伸びの大きい材料 (B, C, D) 特有のものであり、熱処理されたものでは起らない。

チェーン A の S₁, S₂, S₃, S₄ の断面積はそれぞれ 85, 168, 201, 190 mm² であるが断面積の最も大きい S₃ で破壊している。プレートは熱処理されているので S₁, S₄ での破壊は起らないとすると、S₂, S₃ が考えられる破壊箇所である。通常許容せん断応力は許容引張応力の 0.8 倍であるので面積はこの逆比と考えると、断面積の差は相殺される。しかし硬度はプレートの方が高いので許容応力は S₂ の方が大きく従ってこのチェーンの破壊は S₃ で起こることになる。破断荷重から逆算すると S₃ でのせん断応力は 62 kg/mm² となる故このピンの引張強度は 80 kg/mm² 程度と推定され、硬度から考えても妥当な値である。同様に熱処理されたプレートを持つ F の場合は S₂=129 mm², S₃=241 mm² であり、S₂ は S₃ の 0.8 倍にははるかに及ばないので S₂ で破壊する。破断荷重から逆算するとここでの引張応力は 97 kg/mm² となり、HRC 37.3 の炭素鋼としては妥当な値であろう。チェーン E は S₂=166 mm², S₃=143 mm² であり、明らかに S₃ でせん断破壊すると考えられるが、センターリンク摩擦面の仕上げが悪く、穴内壁の中央部が凸状になっているため、ピンに集中荷重がかかり、硬化した表面が割れて剝離した。チェーン G は破断荷重が約 18 トンであるが 12 トンを越えたあたりからプレートおよびピンの曲げ歪みが著しく、ついには溶接部の破断をひき起した。実用上の強度は 10 トン程度とみるべきであろう。

チェーンの伸びについては A のセンターリンクと G のボックスリンク・プレートが大きな値になっている。双方とも熱処理されておらず、破断荷重が大きいので当然ではあるが、A と同じ破断荷重の F のセンターリンクが軽量であるにもかかわらず 1.6% しか伸びていないのを考えると熱処理の効果は極めて大きいと言えよう。

考 察

バーンクリーナの設計にあたっては、チェーンにかかる負荷が各部の強度および所要動力の大きさを決定する。全長 100 m で 60 頭用のバーンクリーナではチェーンにかかる引張力は 1.6~2.8 ton の範囲となり、150 m (100 頭用) では 2.7~4.5 ton となる。またパドルが障害物にひっかかった時には定常負荷の約 3 倍の引張力が生ずるから、安全率は 5 にするのが適当であろう。供試した 7 種のチェーンの限界長さをこの基準で試算すると、A と F のチェーンは 170~270 m、G は 125~195 m、C は 110~175 m、E は 90~140 m、D は 80~125 m、B は 70~105 m となる。限界長さに範囲があるのは設置様式の違いである。カタログでは B, E のチェーンは 100 m まで、C は 180 m を限界長さとしており、他のチェーンも明記されていないが、ドライブユニットが 180 m 用まで用意されているので、ほぼこの長さを限界長さと考えて良いであろう。先の試算によればこれらのカタログ性能をなんとか満足するのは A, E, F であり、条件が良ければ満足させうるものが B, C, G である。D は 100 m 級とすべきであろう。

設置条件の悪い時を基準に考えると、バーンクリーナチェーンの具備すべき条件は、

- 1) 軽負荷用 (全長 100 m まで) で 13 ton 以上、重負荷用 (全長 180 m まで) で 25 ton 以上の引張強度を有すること。
- 2) 伸びが小さいこと。
- 3) 摩耗、腐食が少ないこと。
- 4) 軽量であること。

などが主なものとしてあげられる。所定の強度を得るためには各部の寸法を大きくするか、熱処理で材料強度をあげるかの 2 つの方法が考えられる。軽負荷用では寸法だけでカバーできると思われるが、重負荷用ともなると、寸法だけで 25 ton の引張強度をもたすことは構造上でのマイナス面が多く実用的ではない。熱処理による強化が必須と考えるべきである。伸びの問題にしても常用負荷が 3 ton 以下である軽負荷用では熱処理しなくて良いが重負荷用では熱処理をしなければ若干の過負荷でも伸びる可能性があり、スプロケットの異常摩耗等の原因となる。

摩耗の点からは、軽・重負荷を問わずセンターリンクとボックスリンク・ピンの摩擦面は何らかの熱処理による硬化が必要であろう。耐摩耗性だけを考えれば、高周波焼入れあるいは浸炭焼入れ等が有効であるが、強度を

も焼入れによって得ようとするれば焼入れ焼戻しが必要であり、ピンは焼戻し温度 400°C 程度でトルースタイト組織にし、HRC 30 以上の硬度を確保するのが適当であろう。この時の引張強度は 80~90 kg/mm² が得られよう。

ボックスリンク・プレートの様な摩耗を考慮しなくて良いものでは焼戻し温度を 600°C 以上に高めてソルバイト組織とし、粘り強さを持たせた方が良く、S 30 C 程度の炭素鋼を使用すれば、870°C の焼入れと 650°C の焼戻しで 55~70 kg/mm² の引張強度が得られる。

チェーン重量は軽い方が所要動力の面で有利であり、軽負荷用では E のチェーン、重負荷用では F のチェーンが高水準のものである。

摘 要

バーンクリーナ・チェーンにかかる引張力はチェーン全長とほぼ直線関係にあり、設置様式によっても大差を生ずることはすでに報告した。本研究では市販のバーンクリーナ・チェーン 7 種につき、硬度試験、組織検査、引張試験を行ない、チェーン自体の引張強度、伸びおよび耐摩耗性等について、材質および熱処理法の点から考察を試みた。結果を要約すると次の通りである。

1) センターリンクは炭素含有量 0.35~0.65% の鍛造品であるが、重負荷用は伸びをおさえるため焼入れ焼戻しが必要である。軽負荷用では焼ならし程度で充分であるが摩耗の点からは HRB 90 以上の硬度を得るため、炭素含有量 0.5~0.6% 程度の材料が必要となる。

2) ボックスリンク・プレートは重負荷用では S 30 C 相当の炭素鋼で焼入れ焼戻ししてソルバイト組織とするのが良い。軽負荷用では必ずしも熱処理は必要でない。

3) ボックスリンク・ピンは最も耐摩耗性が要求される部品であり、市販のものほとんどが焼入れを行なっている。重負荷用では強度も要求されるからプレートより若干炭素量の多い材料で焼入れ焼戻しをしてトルースタイト組織にするのが適当であろう。軽負荷用では高周波焼入れあるいは浸炭焼入れにより表面硬化処理を施す手段も考えられる

引用文献

1. 端 俊一・高井宗宏・伊藤道秋：バーンクリーナ所要動力の解析，農機学会北海道支部会報，18：78-82. 1977
2. 吉田一男：バーンクリーナのチェーンについて—強度と金属組織の一例—，農機学会北海道支部会報，17：131-134. 1976.

Summary

It is reported that the tensile force on a barn cleaner chain would not be affected only by the overall chain length, but also by the setting pattern of the barn cleaner. In the present paper, examining seven commercial chains on the hardness, microstructure and tensile strength, the strength of chain, the elongation and the wear resistance are discussed with the material and heat treatment. The results are as follows:

1) The forged center link of chains contained 0.35~0.65% carbon. On the heavy duty type, quenching and tempering should be necessary to decrease the elongation. On the regular type, normalizing would be sufficient, and the great resistance to wear would be obtained with high carbon steel (0.5~0.6%C).

2) On the box link plate of heavy duty, the solbrite structure is desirable. It will be obtained by the quenched and tempered steel of about 0.3% carbon content. The heat treatment will not be necessary to the regular type.

3) To the box link pin, the greatest wear resistance will be required. Most of all the pin tested were quenched and tempered. On the heavy duty type, the extreme strength is also required. Therefore, the steel with a little higher carbon content than the plate should be turned to troostite structure by means of quenching and tempering. To the regular type, a induction hardening or a carbonizing should be available.