

ISSN 0038-920X

СТАЛЬ

МОСКВА «МЕТАЛЛУРГИЯ»

8 / 91

Исследование износа канатной проволоки

© Ю. Н. Таран, В. П. Есаулов,
С. И. Губенко и А. В. Сладковский
Днепропетровский металлургический институт

Надежность и долговечность каната зависят не только от технологического процесса волочения проволоки, термической обработки, условий деформации ее при многократном холодном волочении, от марки стали и уровня ее механических свойств, исходной микроструктуры, но и от геометрии профиля ручья блока и барабана, а также от условий его работы, в частности, от величины и цикличности действующих нагрузок, температуры окружающей среды, вида и качества поверхности ручья и т. д.

Поэтому, говоря о новых теоретических вопросах волочения, термической обработки, необходимо знать обратную связь, показывающую химические и структурные изменения, происходящие в канатной проволоке, в зонах контакта канат — блок, канат — барабан под действием высоких контактных напряжений и возникающей при этом высокой температуры. Только зная весь опи-

санный комплекс происходящих процессов и закон износа профилей ручья блока и барабана, можно с успехом говорить о теоретических и технологических вопросах волочения и термической обработки, прогрессивных методах повышения технико-экономических параметров производства, а также о механизации и автоматизации процессов.

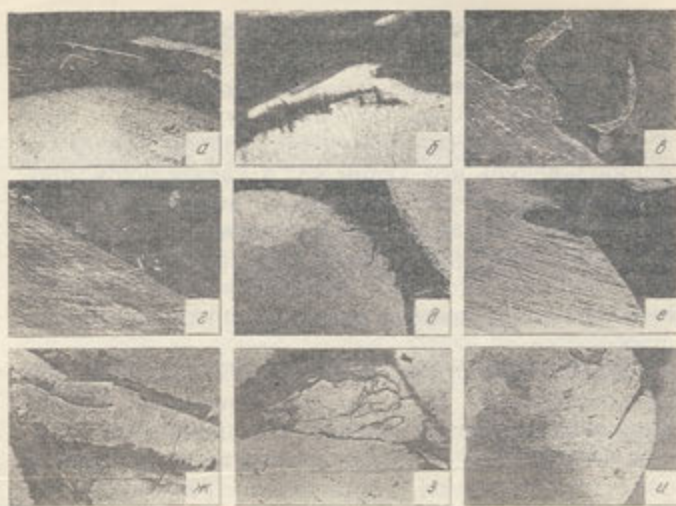
Исследованный канат был изготовлен из нагартованной проволоки тонких сечений (диам. 1 и 2 мм), которая была получена холодным волочением стали, имевшей в исходном состоянии структуру тонкодисперсного пластинчатого перлита, с небольшим количеством феррита. Патентованная проволока имела дисперсную волокнистую структуру удлинённых перлитных и ферритных зерен; уровень прочности был достаточно высок. Канат состоял из нескольких прядей, каждая из которых включала до 36 проволок. Исследовали

микроструктуру изношенной проволоки в продольном и поперечном сечениях, а также пряди отработанного каната с отдельными разрушенными проволоками.

В процессе работы каждая прядь каната (и каждая проволока) находятся в сложном напряженном состоянии от действующих нагрузок, а также от трения одна относительно другой и при взаимодействии с ручьями кантовых барабанов. Изгиб проволоки в месте соприкосновения с ручьем кантового барабана вызывает дополнительные напряжения. Сложное напряженное состояние приводит к накоплению напряжений по всему сечению проволоки при циклическом нагружении, что сопровождается пластической деформацией, накоплением дефектов кристаллического строения и развитием усталостного разрушения в любом месте по сечению проволоки (объемная усталость). Контактные давления, возникающие при трении, приводят к дополнительным напряжениям в поверхностных слоях проволоки, которые могут достигать теоретической прочности стали. Эти процессы вызывают изменение свойств поверхностных слоев, разрушение поверхности в результате образования и отделения частиц износа. Для условий работы канатной проволоки износ следует отнести к усталостному разрушению (поверхностная усталость).

Наружные стороны проволоки у всех прядей изношенного каната имели участки истирания примерно на $\frac{1}{3}$ диаметра проволоки. Когда истирание достигало $\frac{1}{2}$ — $\frac{2}{3}$ диаметра проволоки, сечение ее настолько утонялось, что происходило разрушение. Поверхность износа всегда перпендикулярна оси проволоки, даже если она изогнута. Таким образом, проволока в пряди изнашивается неравномерно. Наружные стороны крайних проволок всех прядей каната истираются значительно, остальная часть поверхности крайних проволок и вся поверхность остальных проволок изнашиваются в меньшей степени. Вблизи поверхности проволоки видны частицы разной формы, свидетельствующие о разном механизме износа и подтверждающие факт неоднородного износа проволоки. По-видимому, на первых этапах износ поверхности проволоки происходит неусталостным путем, так как поверхность новой проволоки содержит исходные неровности, выпуклые участки которых могут отделяться путем откола. Многократное циклическое воздействие приводит к накоплению напряжений и дефектов в этих неровностях, где образуются микротрещины и частицы отрыва. В процессе трения первоначальный рельеф поверхности проволоки постепенно изменяется.

Наиболее распространенные частицы износа представляют собой чешуйки или пластины разной толщины (рисунок). Они характерны для нормальных условий износа¹. Их появление связано с пластической деформацией, как сдвиговой, так и ротационной. Действительно, поверхностные слои проволоки подвергаются действию значительных напряжений, вызывающих пластическую деформацию. Согласно теории износа «отслаива-



Структура изношенной канатной проволоки: а, б, д, з — $\times 120$; в, е, е, ж — $\times 200$; и — $\times 50$. Типографское уменьшение $\frac{2}{3}$.

нием», при трении максимальная плотность дислокаций возникает не непосредственно на поверхности, а на некоторой глубине, где и появляются протяженные трещины, которые растут до критического размера, образуя чешуйки, которые отслаиваются (рисунок, б). Главная роль в этом процессе отводится микропластическим актам, приводящим к накоплению дислокаций и появлению трещин, параллельных поверхности. Образование чешуек износа происходит путем вязкого отслоения. Следует отметить, что, наряду с отдельными чешуйками, вблизи поверхности проволоки возникли довольно протяженные расслоения.

Иногда частицы износа выглядят в виде петель, спиралей, аналогичных мелким стружкам при резании (рисунок, в). Такие частицы предшествуют повреждению и обнаруживаются главным образом на поверхности истирания наружных проволок каната непосредственно перед разрушением проволоки.

Обнаружены также частицы износа в виде осколков с острыми краями неправильной формы, размеры которых в трех взаимно перпендикулярных направлениях равны (рисунок, г). Такие частицы обычно возникают при очень высоких давлениях. Их появление можно связать с образованием в поверхностных слоях мелких усталостных трещин (рисунок, д), направленных под углом $\sim 45^\circ$ к касательной, проведенной к месту выхода трещины на поверхность. Зоны вблизи микротрещин также являются потенциальными частицами износа. Отделение этих потенциальных фрагментов износа в виде свободных частиц износа происходит в результате хрупкого откола (рисунок, е) при многократном нагружении.

Частицы износа попадают в пространство между соседними проволоками и взаимодействуют. При этом они соприкасаются, изгибаются (рисунок, ж). В тройных стыках частицы сильно сминаются, совершая при этом сложное движение (пластические повороты), и образуют конгломераты частиц износа (рисунок, з), близкие к сферическим. Такие конгломераты в свою очередь воз-

¹ Марченко Е. А. О природе разрушения поверхности металлов при трении. — М.: Наука, 1979. — 118 с.

действуют на поверхность проволоки как абразивные частицы, вызывая ее износ.

Следует отметить, что усталостные трещины, возникающие вблизи поверхности, не только способствуют образованию частиц износа. Распространяясь вглубь под углом 45° к касательной, проведенной к месту их выхода на поверхность, они могут достигать значительных размеров, иногда от половины до радиуса проволоки (рисунок, *и*). Такие трещины способны перерасти в магистральную трещину, вызывающую разрушение проволоки.

Поверхность проволоки покрыта окалиной, что свидетельствует и о ее коррозионном износе. Продукты коррозии состоят в основном из оксидов железа Fe_2O_3 и Fe_3O_4 , содержащих примеси, в частности марганец. Коррозионное разъедание металла происходит на довольно значительную глубину. Зоны стали, не поврежденные коррозией, служат потенциальными частицами износа, а сами оксиды, отличающиеся хрупкостью, при многократном циклическом нагружении легко разрушаются и становятся абразивными частицами, способствующими износу проволоки.

Из результатов металлографических исследований можно сделать вывод, что износ канатной проволоки — многофакторный процесс, который происходит по нескольким механизмам.

Аналитическое исследование профилей ручьев канатных блоков и барабанов показало, что из-за неоптимальной геометрической формы барабанов в зоне соприкосновения канат — блок, канат — барабан возникают высокие контактные напряжения и, как следствие, повышенный износ пары трения. Следовательно, для повышения срока службы указанной пары трения и условий нормальной их работы требуется обеспечить оптимальность профиля ручья блока и барабана для соответствующего диаметра каната.

В лаборатории трения ДМетИ при помощи математического моделирования контактного взаимодействия в парах трения канат — блок, канат — барабан, а также в результате испытаний на пробной машине предложили ряд технических решений, направленных на уменьшение интенсивности износа каната при его взаимодействии с ручьем блока и на повышение долговечности канатов на 20—25 %.



CONTENTS

E. M. Borisov et al. Technical Renovation of Iron and Steel Industry and Steelworks Modernization	1
V. T. Fadeev. On Steelworks Operation Stabilization Plan under Transition to Market Relations	5
IRONMAKING	
A. P. Pukhov et al. Putting-into-Practice of Blast Furnace Process with Injection of Hot Reducing Gases	7
N. A. Spirin et al. Optimization of Natural Gas Redistribution in Magnitogorsk Iron and Steel Works Blast Furnace Shop	13
STEELMAKING	
<i>Discussion</i>	
D. B. Martsinkovsky. On Rational Structure of Steelmaking	18
<i>Selected Articles</i>	
"Increase in Refractories Use Efficiency in Steelmaking"	
V. G. Antipin et al. Refractories Service in Steelmaking Plants	21
A. S. Storozhenko et al. Efficiency in Basic Lining Steel Ladle Use	27
G. A. Voronov et al. Effect of Protective Coating of Tundish Lining on Steel Quality	29
A. P. Nagorny et al. Longer Life of Steel Ladles Lined with Heat-Treated Magnesia-Lime Refractories	31
ELECTROMETALLURGY	
V. V. Ryabov et al. Improvement in 07X25H12T2T and 06X25H12T0 Steel Production Efficiency	34
V. Z. Shchus'. Ferroalloy Calcination Furnace	35
FERROALLOYS	
S. A. Morgulev. On Ferroalloy Furnace Electric Parameters Calculation	36
ROLLING	
V. L. Mazur et al. Strain Resistance of Low-Alloyed Steels	41
R. I. Cherkasskiy et al. Intensification of Pickled Strip Washing-up in HCl Pickling Lines	43
V. M. Sementsova et al. Protection of Cold Rolled Steel Sheet against Weather Corrosion	45
A. A. Oleinik et al. Improvement in Shapes Production at Magnitogorsk Iron and Steel Works	47
V. F. Trasev et al. Automated System of Control, Registration and Analysis of Rails Quality	49
L. M. Zheleznyak et al. Improvement in Roll Pass Design for Large Hexagon Bar Rolling	52
TUBE AND PIPE PRODUCTION	
V. M. Fridman et al. Development of Hot Rolled Tube Production with the Help of Personal Computers	55
V. I. Ryabushkin. Automated Calculation of Cold Reducing Tube Mill Pass Design	57
WIRE AND WIRE PRODUCTS MANUFACTURE	
D. A. Avidon. Distinctive Technological Features of High-Carbon Wire Production	59
Y. N. Taran et al. Study of Rope Wire Wear	60
N. D. Glazova. Increase in Steel Wire Cord Production Efficiency	62
PHYSICAL METALLURGY AND HEAT TREATMENT	
N. A. Sorokina et al. Properties of Ferritic Stainless Steels Made in Gas-Oxygen Refining Plant	63
T. A. Bejlinova et al. Optimization of Large-Capacity Cylinder Cooling Conditions during Hardening	65
V. M. Salganik et al. Attainment of High Customer Properties of 08K0 Hot Rolled Steel	67
I. G. Rodionova et al. Improvement in Surface Quality of Bimetallic Plates Produced by Electroslag Overlaying	70
NEW METALLIC MATERIALS AND PROCESSES	
V. N. Antsiferov et al. Structural Strength of Powder Steels	73
ECONOMICS AND NEW METHODS OF MANAGEMENT	
N. I. Zotenko et al. On Additional Taxation Benefits Required in Metallurgical Industry (for discussion)	76
V. I. Fominykh et al. Complex Analysis of In-Process Construction	78
SECONDARY RESOURCES	
A. K. Karklit. Secondary Refractory Resources of Iron and Steel Industry Works	81
L. S. Berdinskikh et al. Economic Motivation of Collection and Use of Alloyed Scrap and Waste of B8 and B11 Groups	84
ECOLOGY	
R. B. Goncharova et al. Effect of Water Quality on Continuous Caster Operation	85
GENERAL PROBLEMS	
V. K. Didkovskiy. Selection of Development Directions for Lime Precalcination	87
V. I. Tarasova et al. Planning of Optimal Capacity of Initial Stock and Supplies of Granulated Slag	91

INHALT

E. M. Borisov u. a. Technische Umrüstung der Hüttenindustrie und Modernisierung der Hüttenbetriebe	1
W. T. Fadeev. Über das Programm der Überführung der Betriebe auf stabile Arbeit unter Übergangsbedingungen zu den Marktbeziehungen	5
HOCHOFENBETRIEB	
A. P. Puhov u. a. Beherrschung der Verfahrenstechnik zur Hochofenschmelze beim Aufblasen von reduzierenden Heissgasen	7
N. A. Spirin u. a. Optimierung der Neuverteilung vom Erdgas im Hochofenwerk des Magnitogorsker Hüttenkombinates	13
STAHLHERSTELLUNG	
<i>Diskussion</i>	
D. B. Marzinkowskij. Über die rationelle Struktur der Stahlherstellung	18
<i>Thematische Sammlung</i>	
"Erhöhung der Effektivität der Feuerfeststoffanwendung bei der Stahlherstellung"	
W. G. Antipin u. a. Anwendung der Feuerfeststoffe in den Stahlschmelzanlagen	21
A. S. Storozhenko u. a. Effektivität der Anwendung von Stahlgießpfannen mit basischer Auskleidung	27
G. A. Voronov u. a. Einwirkung der Schutzüberzüge der Verteilerauskleidung auf die Stahlverhalten	30
A. P. Nagornyj u. a. Erhöhung der Haltbarkeit der wärmebehandelten mit Periklaskalkfeuerfeststoffen ausgekleideten Stahlgießpfannen	31
ELEKTROMETALLURGIE	
W. W. Rjabow u. a. Erhöhung der Herstellungseffektivität von Stahlsorten 07X25H12T2T und 06X25H12T0	34
W. S. Stschusj. Ofen zum Durchglühen von Ferrolegierungen	35
FERROLEGIERUNGEN	
S. A. Morgulew. Über die Berechnungen der elektrischen Parameter von Ferrolegierungsöfen	36
WALZBETRIEB	
W. L. Masur u. a. Verformung von niedriglegierten Stählen	41
R. I. Tscherkasskij u. a. Intensivierung der Waschung von gebeiztem Band in der Anlage zum salzsauerem Beizen	43
W. M. Semenzowa u. a. Schutz des kaltgewalzten Flachwalzerzeugnisses gegen die Korrosion durch Witterungseinflüsse	45
A. A. Olejnik u. a. Erhöhung der Effektivität der Formstahlherstellung in der Stranggießanlage	47
F. R. Zarew u. a. Automatisiertes System der Kontrolle, Erfassung und Analyse der Qualität von gewalzten Schienen	49
L. M. Zheleznyak u. a. Verbesserung der Kalibrierung von Walzen für das Sechskantgrobstahlwalzen	52
ROHRHERSTELLUNG	
W. M. Fridmann u. a. Entwicklung von technologischen Schemas der Herstellung von warmgewalzten Röhren mit Hilfe von PC	55
W. I. Rjabuschkin. Automatisierte Berechnung von Kalibrierungen der Kaltwalzwerke XIII	57
METALLWARENHERSTELLUNG	
D. A. Avidon. Technologische Merkmale der Herstellung vom kohlenstoffreichen Draht	59
J. N. Taran u. a. Untersuchung des Walzdrahtverschleiß	60
N. D. Glasowa. Erhöhung der Effektivität der Stahlkordherstellung	62
METALLKUNDE UND WÄRMEBEHANDLUNG	
N. A. Sorokina u. a. Eigenschaften von den in der Anlage zur Raffination mit gasförmigem Sauerstoff geschmolzenen korrosionsbeständigen ferritischen Stählen	63
T. A. Bejlinowa u. a. Optimierung des Kühlungsbetriebs von grossen Ballons beim Härten	65
W. M. Salganik u. a. Sicherung von hohen Gebrauchseigenschaften der warmgewalzten Stahlsorte 08K0	67
I. G. Rodionowa u. a. Verbesserung der Oberflächenqualität von bimetallicschen Blechen, die durch die Elektroschlackenauftragschweißung hergestellt wurden	70
NEUE METALLISCHE WERKSTOFFE UND PROZESSE	
W. N. Anziferow u. a. Konstruktionsfestigkeit von Sinterstählen	73
WIRTSCHAFT. NEUE FORMEN DER WIRTSCHAFTSFÜHRUNG	
N. I. Zotenko u. a. Über die Notwendigkeit der zusätzlichen Steuervergünstigungen in der Hüttenindustrie (als Diskussion)	76
W. I. Fominyh u. a. Komplexe Analyse des unvollendeten Baus	78
SEKUNDÄRAUFKOMMEN	
A. K. Karklit. Sekundäre feuerfeste Ressource von Betriebe der Hüttenindustrie	81
L. S. Berdinskikh u. a. Wirtschaftliche Stimuli von Beschaffung und Anwendung der legierten Schrotte und Abfälle von B8- und B11-Gruppen	84
ÖKOLOGIE	
R. B. Gontscharowa u. a. Einwirkung der Wasserqualität auf die Arbeit der Stranggießanlage	85
ALLGEMEINE FRAGEN	
W. K. Didkovskij. Wahl der Entwicklungswege des Kaldbrennenbetriebes	87
W. I. Tarasow u. a. Planung von optimalen Mengen des Anfangsvorrates und der Lieferungen von granulierter Schlacke	91