

КОНДЕНСАЦИЯ ЛАНҒАН КҮЙДІҢ ФИЗИКАСЫ ФИЗИКА КОНДЕНСИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ PHYSICS OF THE CONDENSED MATTER

УДК 66.040.25:66.046

Б.К. Рахадиллов¹, Л.Г. Журерова¹, А.В. Павлов², В.К. Виелеба³

¹Восточно-Казахстанский государственный технический университет им. Д. Серикбаева, Усть-Каменогорск;

²Восточно-Казахстанский государственный университет им. С. Аманжолова, Усть-Каменогорск;

³Вроцлавский политехнический университет, Польша
(E-mail: bor1988@mail.ru)

Электролитно-плазменная поверхностная закалка низколегированных сталей 65Г и 20ГЛ

Статья посвящена исследованию особенностей формирования модифицированных поверхностных слоев при электролитно-плазменной поверхностной закалке в сталях 65Г и 20ГЛ, используемых для изготовления деталей железнодорожного транспорта. Приведены результаты исследования влияния электролитно-плазменной поверхностной закалки на структурно-фазовые состояния, микротвердость и износостойкость сталей 65Г и 20ГЛ. Процесс электролитно-плазменной поверхностной закалки образцов сталей 20ГЛ и 65Г проводили в электролите из водного раствора 20 % карбоната натрия. Установлено, что в исходном состоянии сталь 20ГЛ имеет ферритно-перлитную структуру, а сталь 65Г состоит из перлитно-цементной структуры. После электролитно-плазменной поверхностной закалки наблюдается образование частиц карбидов и мартенситных фазовых составляющих в структуре сталей 20ГЛ и 65Г. Определено, что после электролитно-плазменной поверхностной закалки увеличиваются стойкость к абразивному износу сталей 20ГЛ и 65Г — соответственно в 1,3 раза и 1,2 раза и микротвердость — в 1,6 раза и 1,3 раза.

Ключевые слова: электролитно-плазменная обработка, поверхностная закалка, модифицированный слой, микротвердость, износостойкость.

Введение

В связи с ростом требований к долговечности и надежности деталей железнодорожного транспорта, таких как рессорные балки, тележки, пятники и автосцепки грузового вагона, значимыми и приоритетными становятся проблемы поверхностного упрочнения и повышения эксплуатационных свойств этих деталей. Для изготовления деталей железнодорожного транспорта, работающих в условиях сухого трения, высоких контактных и ударных нагрузок, приводящих к износу, нередко используются низколегированные стали. Анализ исследований показал, что при длительной работе этих деталей изнашивание их рабочей поверхности сопровождается снижением эксплуатационных свойств, что, в частности, вызывает ухудшение качества изготавливаемых деталей или сопряжено с их частой заменой [1, 2].

На сегодняшний день известные традиционные методы упрочнения изделий железнодорожного транспорта, применяемые продолжительное время, в значительной степени исчерпали свои возможности. Однако повышение эксплуатационных характеристик рабочей поверхности изделий в условиях повышенного износа оценивается главным образом структурно-фазовыми изменениями, а также повышением механических и трибологических свойств поверхностного слоя.

В последнее время в промышленности все больше используются перспективные ресурсосберегающие технологии поверхностного упрочнения в низкотемпературной плазме, которые дают возможность изменять структуру и свойства рабочей поверхности изделий и, как следствие, улучшать их эксплуатационные свойства.

В связи с изложенным выше целью настоящей работы является исследование влияния электролитно-плазменной поверхностной закалки (ЭППЗ) на структуру и свойства низколегированных сталей 65Г и 20ГЛ.

Материалы и методы исследования

В качестве материала исследования использовались образцы, подвергнутые стандартной термической обработке при следующих режимах: для сталей 65Г — закалка 830 °С, масло, отпуск 470 °С, воздух и 20ГЛ — закалка 880–900 °С, отпуск 600–650 °С и электролитно-плазменной закалке (~850 °С — 2 с, ~1200 °С — 3 с). Химический состав сталей 20ГЛ и 65Г представлен в таблице.

Химический состав сталей 65Г и 20ГЛ

Т а б л и ц а

Марка стали	C	Mn	Si	Cr	Ni	Cu	S	P
65Г	–	0,90–1,20	0,17–0,37	До 0,25	0,25	До 0,20	До 0,035	До 0,035
20ГЛ	0,15–0,25	1,2–1,6	0,2–0,4	–	–	–	До 0,04	До 0,04

Структурные исследования образцов сталей 65Г и 20ГЛ проводили в НИИ «Нанотехнологии и новые материалы» ВКГТУ им Д. Серикбаева методами: рентгеноструктурного анализа на рентгеновском дифрактометре XPertPRO в монохроматизированном $\text{CuK}\alpha$ -излучении ($\lambda=2,2897 \text{ \AA}$); элементного анализа поверхности сталей 65Г и 20ГЛ после электролитно-плазменного модифицирования на растровом электронном микроскопе JSM-6390LV; металлографического анализа на оптических микроскопах ALTAMI-MET-1M и MMP-4. Механические испытания на микротвердость проводили на установке ПМТ-3М по ГОСТу 9450-76, а измерения износостойкости при трении о нежестко закрепленные абразивные частицы — по ГОСТу 23.208-79. Образцы сталей 65Г и 20ГЛ после механической шлифовки и полировки с использованием алмазных паст подвергали химическому избирательному травлению для выявления микроструктуры поверхности сталей [3].

Электролитно-плазменную поверхностную закалку образцов сталей проводили на разработанной и изготовленной в НИИ «Нанотехнологии и новые материалы» установке, которая конструктивно состоит из источника питания, камеры электролитно-плазменной обработки материалов и персонального компьютера [4, 5]. Процесс ЭППЗ образцов сталей 20ГЛ и 65Г осуществляли в электролите из 20 %-ного водного раствора карбоната натрия в следующих режимах: подаваемое напряжение между анодом и образцом при нагреве до температуры закалки — 320 В, время нагрева электролитно-плазменным воздействием 2 и 3 секунды, при этом образцы нагревались до температуры ~850, ~1200 °С соответственно.

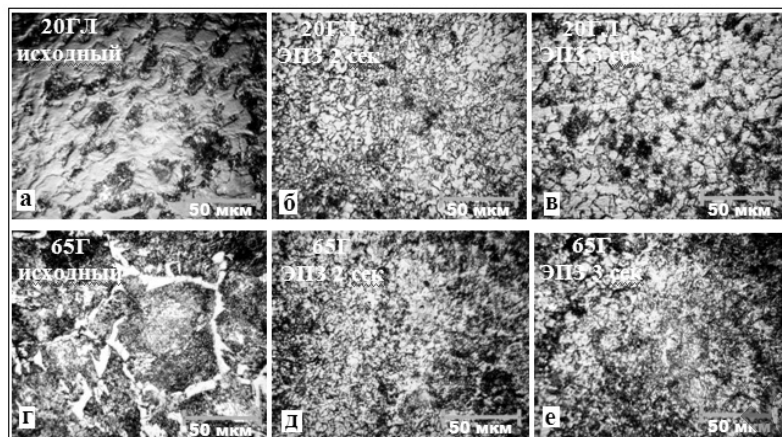
Результаты исследований и их обсуждение

Металлографический анализ показал, что в исходном состоянии поверхность стали 20ГЛ имеет ферритно-перлитную структуру, а поверхность стали 60Г состоит из перлита и цементита (рис. 1а, з). После ЭППЗ в течение 2 с наблюдается образование мартенситного фазового составляющего в структуре сталей 20ГЛ и 65Г (рис. 1б, д). С ростом продолжительности нагрева до 3 с наблюдается укрупнение зерен мартенсита.

На рисунке 2 приведены изображения микроструктуры поперечного сечения сталей 20ГЛ и 65Г после электролитно-плазменной поверхностной закалки с продолжительностью нагрева 2 секунды. Из рисунка 2 видно, что структура поперечного сечения сталей 20ГЛ и 65Г после электролитно-плазменной поверхностной закалки условно разделена на 3 зоны: на поверхности наблюдается зона 1 — темно-гравящийся закаленный слой с мартенситной структурой; зона 2 — слой термического влияния; зона 3 — матрица. Толщина модифицированного слоя сталей 20ГЛ и 65Г после электролитно-плазменной поверхностной закалки составляет ~500–550 мкм.

Для того чтобы подробно изучить изменения морфологии и структуры образцов сталей 20ГЛ и 65Г, был проведен электронно-микроскопический анализ поверхности. На рисунке 3 показаны РЭМ-изображения поверхности сталей 20ГЛ (рис. 3з-е) и 65Г (рис. 3а-в) до и после ЭППЗ. Структура сталей 20ГЛ и 65Г в исходном состоянии состоит из феррита и пластинчатого перлита, цементита. После ЭППЗ наблюдается формирование зерен мартенсита, по границам которых расположены мелкие частицы. Предполагается, что обнаруженными мелкими частицами являются карбиды легирующих элементов. Повышение износостойкости стали 20ГЛ, возможно, связано с образованием этих

мелких частиц, поскольку известно [6], что дисперсные выделения предохраняют объем зерен относительно мягкой матрицы от истирания.



а-в — для стали 20ГЛ; *г-е* — для стали 65Г

Рисунок 1. Микроструктура поверхности сталей 20ГЛ и 65Г до и после ЭПЗ

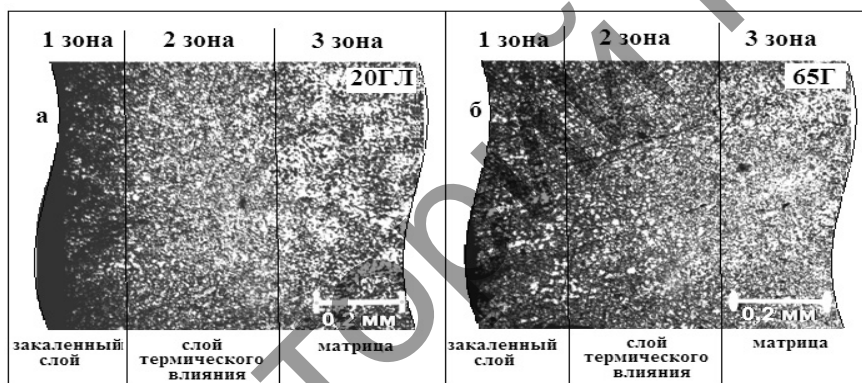
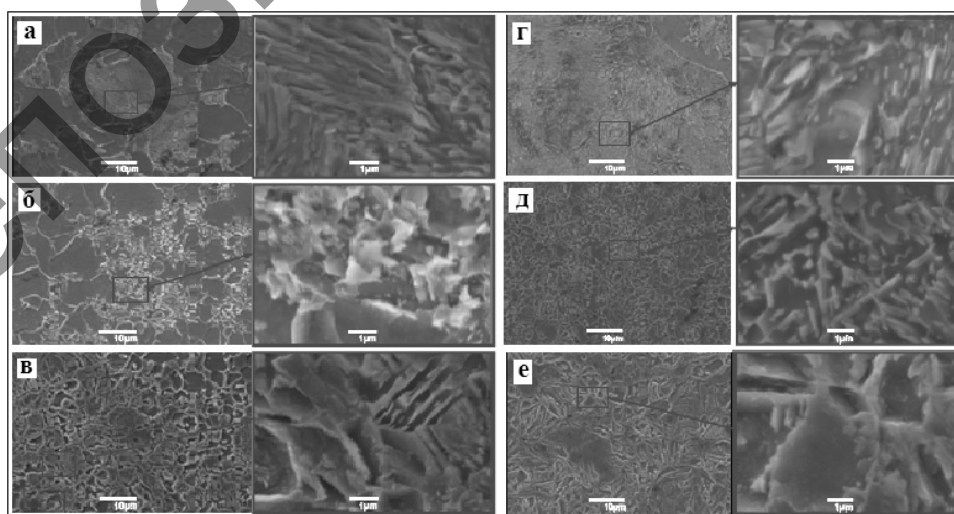


Рисунок 2. Микроструктура поперечного сечения сталей 20ГЛ и 65Г после ЭПЗ



а, г — до обработки; *б, д* — после ЭПЗ с продолжительностью нагрева 2 с;
в, е — после ЭПЗ с продолжительностью нагрева 3 с

Рисунок 3. РЭМ-изображения поверхности сталей 65Г и 20Г

На рисунке 4 показана интенсивность изнашивания ($\text{мм}^3/\text{Нм}$) образцов сталей 20ГЛ и 65Г до и после ЭППЗ. Испытания проведены по схеме «шар–диск». Видно, что все обработанные образцы показывают значительное снижение интенсивности изнашивания по сравнению с исходным материалом. Интенсивность изнашивания сталей 20ГЛ и 65Г после поверхностной закалки электролитно-плазменным воздействием в течение 2 сек снижается до 30 %, что указывает на значительное повышение износостойкости сталей.

Абразивную износостойкость оценивали путем сравнения потери массы образцов сталей 20ГЛ и 65Г до и после ЭППЗ. Относительную износостойкость образцов стали определяли по формулам согласно ГОСТу [7]. Как видим из рисунка 4, потеря массы образцов сталей 20ГЛ и 65Г после упрочнения ЭППЗ меньше, чем у исходных образцов, что указывает на повышение стойкости абразивному износу сталей 20ГЛ и 65Г после поверхностной закалки. После ЭППЗ стойкость к абразивному износу сталей 20ГЛ и 65Г увеличилась в 1,3 и 1,2 раза соответственно.

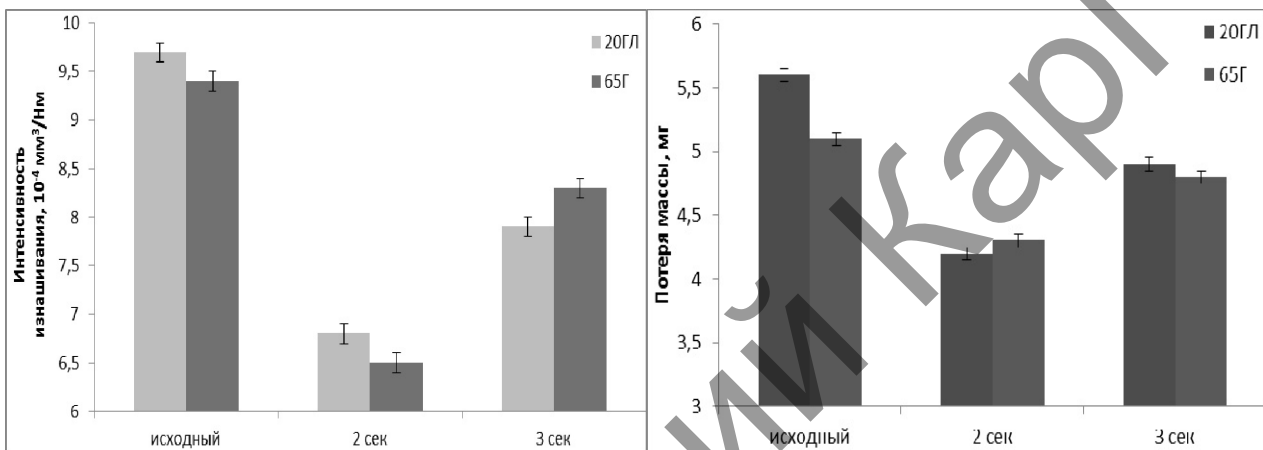


Рисунок 4. Оценка износостойкости образцов сталей 20ГЛ и 65Г до и после ЭППЗ

На рисунке 5 приведена зависимость микротвердости сталей 20ГЛ и 65Г от продолжительности воздействия электролитной плазмы. Микротвердость сталей 20ГЛ и 65Г в исходном состоянии составляет 1690 и 2430 МПа соответственно. Установлено, что после ЭППЗ с продолжительностью нагрева 2 с микротвердость стали 20ГЛ увеличивается в 1,6 раза, а стали 65Г — в 1,3 раза, в зависимости от исходного состояния.

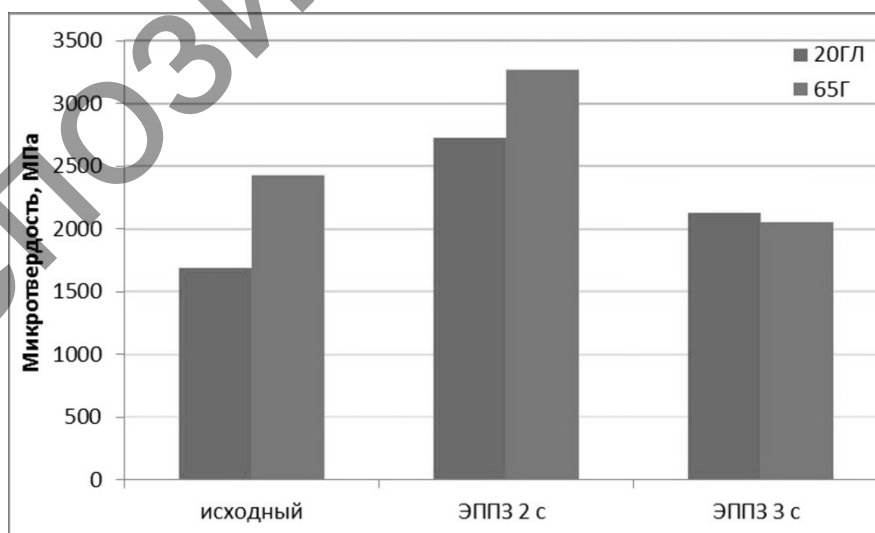


Рисунок 5. Микротвердость сталей 20ГЛ и 65Г

Выводы

Таким образом, на основании анализа полученных экспериментальных результатов исследований модифицированных поверхностных слоев сталей 20ГЛ и 65Г при ЭППЗ можно сделать следующие выводы:

- разработан способ и определены оптимальные режимы поверхностного упрочнения низколегированных сталей 20ГЛ и 65Г в плазме электролита, которые позволяют получить модифицированный поверхностный слой толщиной ~500–550 мкм с улучшенными эксплуатационными свойствами;
- определено, что стойкость к абразивному износу сталей 20ГЛ и 65Г увеличилась в 1,3 и 1,2 раза соответственно;
- установлено, что микротвердость сталей 20ГЛ и 65Г после ЭППЗ с продолжительностью нагрева 2 сек увеличивается в 1,6 и 1,3 раза соответственно, в зависимости от исходного;
- выявлено, что после электролитно-плазменной поверхностной закалки морфологическая структура сталей 20ГЛ и 65Г состоит из зерен мартенсита, по границам которых расположены мелкие карбидные частицы;
- обнаружено, что структура поперечного сечения сталей 20ГЛ и 65Г после ЭППЗ имеет зональную характеристику: на поверхности наблюдается зона 1 — темно-травящийся закаленный слой с мартенситной структурой; зона 2 — слой термического влияния; зона 3 — матрица.

Таким образом, проведенные исследования показали перспективность и целесообразность применения разработанного способа для повышения эксплуатационных свойств деталей железнодорожного транспорта, работающих в условиях трения и изнашивания.

Настоящая работа выполнена при финансовой поддержке Комитета науки МОН РК по проекту «Разработка ресурсосберегающей технологии поверхностного упрочнения стальных деталей железнодорожного транспорта» по договору № 63 от 12 февраля 2015 г.

Список литературы

- 1 Тюфтяев А.С. Закономерности структурообразования при плазменной поверхностной обработке металлических изделий и разработка на этой основе ресурсосберегающих промышленных технологий: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. — М.: Изд. МИСиС, 2013. — 42 с.
- 2 Наговицын В.С., Вешкурцев Ю.М., Шахов В.Г., Головахи А.Н. Техническая диагностика подвижного состава // Вестн. транспорта. — 2002. — № 5. — С. 19–22.
- 3 Баранова Л.В., Демина Э.Л. Металлографическое травление металлов и сплавов: справ. — М.: Металлургия, 1986. — 256 с.
- 4 Скаков М.К., Рахадиллов Б.К., Зарва Д.Б., Гулькин А.В. Установка электролитно-плазменной обработки // Инновационный патент на изобретение Республики Казахстан: МПК C255F 7/00 — № 29978 / Заявл. 03.02.2014; Опубл. 15.06.2015, Бюл. № 6.
- 5 Рахадиллов Б.К., Беккалиев М.Н., Миниязов А.Ж., Арингожина З.Х., Рахадиллов М.К., Кожанова Р.С. Экспериментальные исследования энергетических характеристик электролитно-плазменного разряда // Вестн. ВКГТУ. — 2015. — № 1. — С. 62–68.
- 6 Устиновиков Ю.И. Выделение второй фазы в твердых растворах. — М.: Наука, 1988. — 172 с.
- 7 ГОСТ 23.20879. Обеспечение износостойкости изделий. Метод испытания материалов на износостойкость при трении о нежестко закрепленные абразивные частицы.

Б.К. Рахадиллов, Л.Г. Журерова, А.В. Павлов, В.К. Виелеба

65Г және 20ГЛ төмен легіріленген болаттарды электролитті-плазмалық беттік шынықтыру

Мақала темір жол көлігінің бөлшектерін жасауға қолданылатын 20ГЛ және 65Г болаттарын электролиттік-плазмалық беттік шынықтыру кезінде түрленген беттік кабаттардың түзілу ерекшеліктерін зерттеуге арналған. Электролиттік-плазмалық беттік шынықтырудың 65Г және 20ГЛ болаттарының құрылымдық-фазалық күйлеріне, микротақтылығына және қажалу төзімділігіне әсерін зерттеудің нәтижелері келтірілген. 65Г және 20ГЛ болаттарын электролиттік-плазмалық беттік

шынықтыру процесі натрий карбонатының 20 %-дық су ерітіндісінде жүргізілді. Бастапқы күйінде 20ГЛ болаты ферритті-перлитті құрылымнан, ал 65Г болаты перлитті-цементитті құрылымнан тұратыны анықталды. Электролиттік-плазмалық беттік шынықтырудан кейін 65Г және 20ГЛ болаттарының құрылымында карбидті бөлшектер мен мартенситтік фазалық құраушылардың пайда болғандығы байқалды. Электролиттік-плазмалық беттік шынықтырудан кейін 65Г және 20ГЛ болаттарының абразивті қажалуға төзімділігінің сәйкесінше 1,3 және 1,2 есеге жоғарылайтындығы және микроаттылық сәйкесінше 1,6 және 1,3 есеге өсуі тіркелді.

B.K. Rakhadilov, L.G. Zhurerova, A.V. Pavlov, W.K. Wieleba

Electrolyte-plasma surface hardening of 65G and 20GL low-alloy steels

This work is devoted to formation of modified surface layers in 65G and 20GL steels which using for the manufacture of railway transport parts, as well as the study of influence of the parameters of electrolyte-plasma surface hardening method on the changes in structural-phase states, improving of wear-resistance. The process of electrolyte-plasma surface hardening of 65G and 20GL steels samples conducted in the electrolyte from water solution of 20 % sodium carbonate, in the mode $\sim 850\text{ }^{\circ}\text{C}$ — 2 seconds, $\sim 1200\text{ }^{\circ}\text{C}$ — 3 seconds. It is established that in the initial state 20GL steel has ferrite-pearlite structure, and the 65G steel consists of pearlite and cement structure. After application of electrolyte-plasma surface hardening is observed the formation of carbides particles and martensite phase components in the structure of 20GL and 65G steels. It is determined that after electrolyte-plasma surface hardening with heating time — 2 s, the abrasive wear-resistance of 65G and 20GL steels increased to 1,3 times and 1,2 times, respectively, and the microhardness is increased to 1,6 times and 1,3 times, respectively.

References

- 1 Tyufyaev A.S. *Regularities of structure formation at the plasma surface treatment of metal products and the development on this base resource saving industrial technology*: Dis. abstract. ... Dr. of techn. sci., Moscow: MIS&A Publ., 2013, 42 p.
- 2 Nagovitsyn V.S., Veshkurtsev Yu.M., Shakhov V.G., Golovash A.N. *Transport Bull.*, 2002, 5, p. 19–22.
- 3 Baranova L.V., Demina E.L. *Metallographic etching metals and alloys*: Directory, Moscow: Metallurgiya, 1986, 256 p.
- 4 Skakov M.K., Rakhadilov B.K., Zarva D.B., Gul'kin A.V. *Innovative patent of the Republic of Kazakhstan: IPC S255F 7/00 — No. 29978*, Appl. 03.02.2014, Publ. 15.06.2015, Bull. No. 6.
- 5 Rakhadilov B.K., Bekkaliev M.N., Miniyazov A.Zh., Aringozhina Z.Kh., Rakhadilov M.K., Kozhanova R.S. *Bull. of EKSTU*, 2015, 1, p. 62–68.
- 6 Ustinovshchikov Yu.I. *Isolation of the second phase in solid solutions*, Moscow: Nauka, 1988, p. 172.
- 7 *GOST 23.20879. Providing wear resistance of products. The method of testing materials for wear by friction of the loosely fixed abrasive particles.*