

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Суслов, А.Г. Качество поверхностного слоя деталей машин. – М.: Машиностроение, 2000. – 320 с.
2. Технологическое обеспечение и повышение эксплуатационных свойств деталей и их соединений / А.Г. Суслов, В.П. Федоров, О.А. Горленко [и др.]; под общ. ред. А.Г. Суслова. – М.: Машиностроение. 2006. – 447 с.
3. Суслов, А.Г., Федоров, В.П., Нагоркин, М.Н., Пыриков, И.Л. Комплексный подход к экспериментальным исследованиям технологических систем металлообработки по обеспечению параметров качества и эксплуатационных свойств поверхностей деталей машин // Научноёмкие технологии в машиностроении. – 2018. – № 10(88). – С. 3-13.
4. Фёдоров, В.П., Нагоркин, М.Н., Пыриков, И.Л., Ивахненко, А.Г., Федяева, Г.А., Потапов, Л.А. Автоматизация диагностики технологических систем по параметрам качества поверхностей обрабатываемых деталей // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2012. – № 1(33). – С. 85-94.
5. Нагоркин, М.Н. Параметрическая надежность технологических систем чистовой и отделочно-упрочняющей обработки поверхностей деталей машин инструментами из сверхтвердых синтетических материалов. Монография. / Под ред. А. В. Киричека. – М.: Издательский дом «Спектр», 2017. – 304 с.
6. Фёдоров, В.П., Нагоркин, М.Н., Пыриков, И.Л., Трегьяков, В.В. Аппаратно-программные интерфейсы автоматизированных систем диагностики технологических процессов механической обработки поверхностей деталей машин // Машиностроение и техносфера XXI века. Сборник трудов XXIII международной научно-технической конференции в г. Севастополе 12-18 сент. 2016 г. Т. 2. – Донецк: МСМ, 2016. – С. 145-148.

REFERENCES

1. Suslov, A.G. *Quality of Machinery Surface Layer*. – M.: Mechanical Engineering, 2000. – pp. 320.
2. *Technological Assurance and Operation Properties Increase of Parts and Their Joints* / A.G. Suslov, V.P. Fyodorov, O.A. Gorlenko [et al.]; under the general editorship of A.G. Suslov. – M.: Mechanical Engineering. 2006. – pp. 447.
3. Suslov A.G., Fyodorov V.P., Nagorkin M.N., Pyrikov I.L. Complex approach to experimental investigations of technological systems for metal working to ensure quality parameters and operation properties of machinery surfaces // *Science Intensive Technologies in Mechanical Engineering*. 2018. No.10 (88). pp. 3-13.
4. Fyodorov V.P., Nagorkin M.N., Pyrikov I.L., Ivakhnenko A.G., Fedyayeva G.A., Potapov L.A. Diagnostics automation of technological systems on surface quality parameters of parts under working // *Bulletin of Bryansk State Technical University*. 2012. No.1 (33). pp. 85-94.
5. Nagorkin M.N. *Parameter Reliability of Technological Systems for Finishing and Finishing-Strengthening of Machinery Surfaces with Super-hard Synthetic Tools*. Monograph. / under the editorship of A.V. Kirichek. – M.: “Spectrum” Publishers, 2017. – pp. 304.
6. Fyodorov V.P., Nagorkin M.N., Pyrikov I.L., Tretiyakov V.V. Hardware-software interfaces of automated systems for diagnostics of technological processes for machining of machinery surfaces // *Mechanical Engineering and Technology of the XXIst century. Proceedings of the XXIIIrd Inter. Scientif-tech. Conf.* in Sevastopol. September 12-18, 2016, Vol. 2. – Donetsk: MSM, 2016. – pp. 145-148.

Рецензент д.т.н. Ю.Л. Чигиринский

УДК 621.81

DOI:10.30987/2223-4608-2020-2020-1-24-30

А.В. Тотай, д.т.н.

(Брянский государственный технический университет, 241035, г. Брянск, Бульвар 50-летия Октября, 7)

E-mail: totai_av@mail.ru

Повышение эксплуатационной надежности деталей технологическим управлением физико-химическими параметрами их поверхностных слоев

На основе фундаментальных положений теории пластических деформаций металлов установлены дополнительные резервы в повышении эксплуатационной надежности деталей машин, работающих в условиях циклических нагрузок и трения скольжения.

Ключевые слова: поверхностный слой; условия деформации; массоперенос; сопротивление усталости; период приработки.

A.V. Totay, Dr. Sc. Tech.

(Bryansk State Technical University, 7, 50 Years of October Boulevard, Bryansk, 241035)

Increase of parts operation reliability by technological control of physical-chemical parameters of their surface layers

On the basis of fundamental regulations of the theory of metal plastic deformations there are defined additional reserves in the operation reliability increase of machinery operated under conditions of cyclic loadings and sliding friction.

Keywords: surface layer; deformation conditions; mass transfer; fatigue resistance; running-in.

Постоянное совершенствование возможностей металлообрабатывающего оборудования, режущего и упрочняющего инструмента открывает перед машиностроением дополнительные резервы в повышении ресурса лимитирующих деталей и узлов технологическими методами.

Причем, подобный подход к данной проблеме должен предполагать только оптимизацию операционных технологических процессов, без дополнительных материальных затрат.

Анализ многочисленных научных работ в этом направлении показывает, что в основном они базируются на использовании сведений об упруго-пластических свойствах обрабатываемых конструкционных материалов.

Общеизвестно, что до 80 % деталей машин, механизмов и технологической оснастки выходит из строя вследствие их изнашивания или усталостного разрушения.

В этих условиях наиболее рациональным представляется подход к технологическому обеспечению, основанный на глубоких теоретических и экспериментальных исследованиях закономерностей формирования параметров качества поверхностного слоя (ПКПС) в процессе технологического воздействия на обрабатываемую поверхность.

Классический подход к пластической деформации металлов предполагает обязательный учет трех компонентов этого процесса: силового, скоростного и температурного факторов.

Эквивалентное напряжение в единице объема поверхностного слоя на глубине h можно определить формулой (1), полученной методом конечных элементов:

$$\sigma = q_o \cdot e^{-mh}, \quad (1)$$

где q_o – контактное давление между инструментом и поверхностью; m – коэффициент, зависящий от механических свойств материала.

На основании исследований П.Кука [1] получен коэффициент ψ , определяющий фактическое значение предела текучести в зависимости от действующей температуры и скорости деформации:

$$\psi = \kappa_\psi + m_\psi T / T_{пл}, \quad (2)$$

где κ_ψ и m_ψ – коэффициенты, зависящие от соотношения действующей температуры T и температуры $T_{пл}$: при $T/T_{пл} \leq 0,3$ $\kappa_\psi = 1$; $m_\psi = 1,5$; при $T/T_{пл} \geq 0,3$ $\kappa_\psi = 0,35$; $m_\psi = 2,8$.

Фактическое значение напряжения текучести с учетом температуры и скорости деформации может быть определено по выражению:

$$\sigma'_T = \sigma_T (\kappa_\psi + m_\psi T / T_{пл}) [1 - e^{n_T(T-T_{пл})}], \quad (3)$$

где n_T – коэффициент, зависящий от механических свойств обрабатываемого материала.

Действующее в процессе технологического воздействия напряжение текучести связано с размером зерна d поверхностного слоя соотношением Холла-Петча:

$$\sigma'_T = \sigma_T + cd^{-0,5}, \quad (4)$$

где c – константа; d – средний размер зерна поверхностного слоя.

Из зависимости (4) с учетом выражения (3) определим d :

$$d = \left\{ c/\sigma_T \left[\left(\kappa_\psi + m_\psi \frac{T}{T_{пл}} \right) (1 - e^{n_T(T-T_{пл})}) - 1 \right] \right\}^2. \quad (5)$$

Уравнение (5) определяет средний размер зерна с факторами обработки через среднюю температуру поверхностного слоя T :

$$T = 0,5T_k \left\{ 1 - \left[1 - \operatorname{erf} \left(\frac{\ln q_o - \ln \sigma'_T}{2m\sqrt{\alpha t}} \right) \right] \right\}, \quad (6)$$

где α – коэффициент температуропроводности, m^2/c ; T_k – время действия теплового источника, с; h – расстояние от поверхности, м.

Для практических расчетов приближенное значение T можно принимать:

- для точения и выглаживания $T \approx 0,9 T_k$.
- для шлифования $T \approx 0,7 T_k$.

Кроме размера зерна значительное влияние на эксплуатационную надежность деталей машин оказывает плотность дислокаций ρ_d [2].

Из известного соотношения Д. Тейлора [3] можно получить выражение плотности дислокаций от напряжения текучести σ_T и характеристик материала заготовки:

$$\rho_d = (2\pi\sigma_T / Gb)^2, \quad (7)$$

где G – модуль сдвига; b – вектор Бюргера.

Исследование приведенных выше ПКПС (размера зерна и плотности дислокаций) при проектировании маршрутных и операционных технологических процессов связано с очень длительными лабораторными исследованиями. В этой связи целесообразно использовать какой-либо физический метод неразрушающего контроля, который позволяет как на образцах, так и на реальных деталях оперативно устанавливать связи между основными ПКПС.

В качестве такого метода, на взгляд автора, подходит исследование экзоэлектронной эмиссии с поверхности конструкционного материала.

Термином «экзоэлектронная эмиссия» (ЭЭЭ) определяют явление нестационарной электронной эмиссии с поверхности твердого тела, находящейся в возбужденном состоянии, при внешнем тепловом или световом стимулирующем воздействии с энергией ниже порога возникновения стационарных эмиссионных

эффектов. К настоящему времени считается доказанным факт взаимосвязи эмиссионных параметров с дефектностью материалов. Технологические методы воздействия на поверхность, сопровождающиеся деформационными и тепловыми явлениями, вызывают сложные физико-химические процессы, приводящие к нарушению равновесия в электронной системе материалов [3].

Несмотря на различие физической природы трансформаций, происходящих в поверхностном слое в результате внешних воздействий, эмиссионная реакция сводится к снижению энергетического порога. Установлено также, что метод ЭЭЭ малочувствителен к типу поверхностного дефекта, а служит лишь его индикатором. Поэтому использование его для контроля качества поверхностного слоя должно сопровождаться исследованиями взаимосвязи параметров ЭЭЭ с закономерностями процесса дефектообразования в поверхностном слое. Широкое практическое использование метода обуславливается рядом особенностей:

- отсутствие ограничений, связанных с природой, структурой и свойствами материалов;
- возможность получения информации как в интегральной форме со всей контролируемой поверхности, так и локально, с отдельных ее участков;
- высокая чувствительность к поверхностным дефектам, что позволяет его использовать в процессе динамических испытаний;
- измерения могут проводиться в разнообразной атмосфере, широком температурном интервале, после различных внешних энергетических воздействий на поверхность.

Как известно, реальная поверхность твердого тела всегда покрыта слоями адсорбатов, пленкой оксида, что приводит к видоизменению энергетического спектра существующих электронных состояний. Вследствие неоднородности структуры поверхность является источником генерирования дислокаций, что неизбежно сказывается на ее механических свойствах. Многие исследователи связывают это явление с наличием границ зерен и двойников, оксидных пленок, трещин и т.д.

В прикладных технических задачах в основном различают два вида ЭЭЭ:

- 1) фотостимулированная электронная эмиссия (ФСЭЭ) – эмиссия, регистрируемая в процессе освещения при постоянной температуре;
- 2) термостимулированная электронная эмиссия (ТСЭЭ) – эмиссия, регистрируемая при нагревании контролируемого объекта.

В настоящей работе для оценки физико-химического состояния поверхностей применялась ФСЭЭ.

Для установления статистических связей интенсивности ЭЭЭ с параметрами качества поверхностного слоя был применен корреляционный анализ.

В качестве исследуемых параметров были выбраны следующие: Ra , мкм – среднее арифметическое отклонение профиля шероховатости; H_{μ} , кг/мм² – поверхностная микротвердость; U_n – коэффициент степени наклепа; σ_0 , МПа – технологические тангенциальные макронапряжения на поверхности образца; d – номер зерна металла поверхностного слоя; ρ , см⁻² – плотность дислокаций.

Исходными данными для корреляционного анализа служили результаты как однофакторных, так и многофакторных экспериментов. После обработки исходных данных на ЭВМ были получены коэффициенты парной корреляции между всеми анализируемыми параметрами (табл. 1).

Рассматривая силу связи каждого параметра в отдельности с интенсивностью экзотока, прежде всего, необходимо отметить, что для всех трех рассмотренных методов обработки наблюдается довольно хорошая сходимость значений коэффициентов парной корреляции.

Если условно разделить включенные в корреляционный анализ микрогеометрические и физические параметры на две группы, то можно сказать, что поверхностная микротвердость, коэффициент степени наклепа, номер зерна и плотность дислокаций проявляют очень тесную связь с ЭЭЭ, а среднее арифметическое отклонение профиля шероховатости и поверхностные тангенциальные макронапряжения слабо коррелируют с исследуемым параметром.

В свою очередь, если посмотреть на коэффициенты парной корреляции между H_{μ} , U_n , d и ρ , то все они укладываются в диапазон значений 0,74...0,96, что говорит об их сильном взаимовлиянии. Поэтому связь первой группы параметров с ЭЭЭ необходимо рассматривать в комплексе. Итак, с увеличением поверхностной микротвердости и, следовательно, коэффициента степени наклепа наблюдается уменьшение размера зерна (увеличение его номера) и увеличение плотности дислокаций. Эта статистическая оценка не противоречит физической картине, имеющей место в поверхностном слое. Так как увеличение твердости не что иное, как повышение сопротивляемости металла пластической деформации, то в подавляющем большинстве случаев это связано с уменьшением размера зерен металла поверхностного слоя и барьерным действием межзеренных границ [4].

Указанные два последних фактора значительно тормозят движение дислокаций в ре-

альной кристаллической решетке поликристаллов, что объясняется барьерным действием границ зерен (чем зерно меньше, тем гра-

ниц больше) и «запирающим» свойством дислокационных плоскостей.

1. Коэффициенты парной корреляции между параметрами состояния поверхностного слоя

Параметры	Ra	H_μ	U_n	σ_0	d^*	ρ	I	
Ra	1,00	<u>0,17</u> ** <u>-0,22</u> <u>-0,31</u>	<u>0,21</u> <u>-0,19</u> <u>-0,33</u>	<u>0,34</u> <u>0,29</u> <u>0,43</u>	<u>-0,58</u> <u>-0,71</u> <u>-0,63</u>	<u>0,16</u> <u>-0,08</u> <u>-0,11</u>	<u>0,17</u> <u>0,36</u> <u>-0,47</u>	
	H_μ	<u>0,17</u> <u>-0,22</u> <u>-0,11</u>	1,00	<u>0,92</u> <u>0,84</u> <u>0,96</u>	<u>0,16</u> <u>0,22</u> <u>0,27</u>	<u>0,78</u> <u>0,83</u> <u>0,91</u>	<u>0,91</u> <u>0,84</u> <u>0,89</u>	<u>0,86</u> <u>0,88</u> <u>0,92</u>
		U_n	<u>0,21</u> <u>-0,19</u> <u>-0,33</u>	<u>0,92</u> <u>0,84</u> <u>0,96</u>	1,00	<u>0,18</u> <u>-0,11</u> <u>0,14</u>	<u>0,79</u> <u>0,78</u> <u>0,86</u>	<u>0,87</u> <u>0,82</u> <u>0,89</u>
σ_0			<u>0,34</u> <u>0,29</u> <u>0,43</u>	<u>0,16</u> <u>0,22</u> <u>0,27</u>	<u>0,18</u> <u>-0,11</u> <u>0,14</u>	1,00	<u>0,27</u> <u>0,17</u> <u>0,21</u>	<u>0,31</u> <u>0,42</u> <u>0,36</u>
	d^*		<u>-0,58</u> <u>-0,71</u> <u>-0,63</u>	<u>0,78</u> <u>0,83</u> <u>0,91</u>	<u>0,79</u> <u>0,78</u> <u>0,86</u>	<u>0,27</u> <u>0,17</u> <u>0,21</u>	1,00	<u>0,74</u> <u>0,77</u> <u>0,82</u>
		ρ	<u>0,16</u> <u>-0,08</u> <u>-0,11</u>	<u>0,79</u> <u>0,78</u> <u>0,86</u>	<u>0,87</u> <u>0,82</u> <u>0,89</u>	<u>0,31</u> <u>0,42</u> <u>0,36</u>	<u>0,74</u> <u>0,77</u> <u>0,82</u>	1,00
I			<u>0,17</u> <u>0,36</u> <u>-0,47</u>	<u>0,86</u> <u>0,88</u> <u>0,92</u>	<u>0,91</u> <u>0,84</u> <u>0,87</u>	<u>-0,11</u> <u>0,17</u> <u>0,08</u>	<u>0,87</u> <u>0,79</u> <u>0,92</u>	<u>0,93</u> <u>0,89</u> <u>0,91</u>

Примечания: * – в таблице d дан через номер по ГОСТ 5639-82 (номер возрастает с уменьшением d); ** – через черточки даны коэффициенты корреляции при точении, круглом шлифовании и алмазном выглаживании.

Тесная корреляционная связь рассмотренных четырех факторов на величину экзоэмиссии объясняется чувствительной реакцией этого метода на дефектность материала, увеличение которой сопровождается значительным ростом в поверхностном слое числа экзоэлектронов.

Влияние параметра Ra на ЭЭЭ оценивается коэффициентами корреляции от -0,47 при алмазном выглаживании до 0,36 при шлифовании, что с точки зрения математической статистики можно считать довольно слабым. С точки зрения физики явления гипотетически сложно сказать, что в большей степени скажется на росте экзотока – увеличение площади поверхности с ростом Ra и, следовательно, возрастание вероятности выхода электрона в вакуум при возбуждении или уменьшение мощности светового возбуждающего зонда вследствие больших потерь при сканировании поверхности с «грубой» шероховатостью.

Кроме того, в зависимости от методов и режимов отделочной обработки микрорельеф может формироваться под воздействием как сравнительно незначительных силовых воздействий (шлифование мелкозернистыми кругами с малыми глубинами резания), так и при больших удельных нагрузках (алмазное вы-

глаживание). Подобная ситуация может сформировать сочетание невысокой шероховатости в одних случаях со сравнительно крупным поверхностным зерном и небольшой плотностью дислокаций, а в других аналогичный микрорельеф будет на поверхности с более мелким зерном и большей плотностью дислокаций.

Описанная физическая модель в первом приближении дает объяснение слабой корреляционной связи высотного параметра шероховатости с величиной ЭЭЭ.

На химический состав так называемых вторичных структур поверхностного слоя в процессе механической обработки оказывают влияние следующие основные физические факторы:

- 1) диффундирование некоторых химических элементов из инструментального материала в матрицу конструкционного;
- 2) адсорбция элементов режущего инструмента под действием значительных температурных градиентов в поверхностном слое;
- 3) адгезия микрочастиц материала на режущий инструмент и «размазывание» [5] их по обрабатываемой поверхности;
- 4) «микрометаллургические» процессы, протекающие при «размазывании» микро-

включений по обрабатываемой поверхности при высоких локальных температурах;

5) адсорбция элементов, входящих в СОТС.

В настоящее время существуют в основном две физические модели диффузии твердых тел: гетеродиффузия и реактивная диффузия. Первый вид характеризуется образованием твердого раствора с решеткой растворителя. Максимальная концентрация диффундирующего вещества в металле, играющем роль растворителя, не может превышать предельную концентрацию согласно диаграмме состояния. По второй модели химическая реакция может произойти с образованием интерметаллического соединения на границе раздела контактирующих тел. Известно, что диффузия молекулы химического соединения в решетку металла невозможна. В металле диффундируют атомы, получившиеся в результате диссоциации этих соединений. Поэтому при диффузионном растворении инструментального материала в обрабатываемом необходимо рассматривать диффузию входящих в сплав химических элементов.

Количество вещества dM компонента B , выраженное в молях массы вещества, продиффундировавшее в компонент A , определяется уравнением:

$$dM = -D \frac{dc}{dx} dS dt, \quad (8)$$

где D – коэффициент диффузии; dc/dx – градиент концентрации в какой-либо точке; dS – элементарная площадь, через которую происходит диффузия; dt – время диффузии.

Важнейшим параметром, характеризующим диффузию, является коэффициент диффузии D , который определяется из соотношения

$$D = D_0 e^{-\frac{Q}{R\Theta}}, \quad (9)$$

где D_0 – предэкспоненциальный множитель, который соответствует коэффициенту диффузии при температуре, равной бесконечности; Q – энергия активации, отнесенная к молю твердого раствора; R – газовая постоянная, равная 8,314 Дж/(моль·К); Θ – температура диффузии, K .

Одним из современных способов оценки элементного состава поверхностей материалов считается метод электронной оже-спектроскопии (ЭОС) [3, 6]. В основе ЭОС лежат процессы ионизации внутренних атомных уровней первичным электронным пучком и выход оже-электрона в вакуум, где он регистрируется при помощи электронного спектрометра. Физическая картина оже-процесса выглядит следующим образом: падающий электрон с достаточно большой энергией вы-

бывает электрон с внутреннего уровня, а образовавшаяся вакансия мгновенно заполняется другим электроном.

Энергия при таком переходе может освобождаться в виде характеристического рентгеновского излучения или передаваться другому электрону, находящемуся на другом уровне. Этот электрон выходит в вакуум и регистрируется как оже-электрон. Работа выхода такого электрона имеет строго определенный, довольно узкий диапазон, характеризующий конкретный химический элемент. Из этого пояснения следует, что для оже-процесса нужны, по крайней мере, два энергетических уровня и три электрона, поэтому в атомах водорода и гелия оже-электроны возникать не могут.

Исследования проводились на электронном спектрометре типа ЭСКАЛАБ-МК-11. Данный спектрометр позволяет анализировать химический состав поверхности на глубине в несколько десятков ангстрем. Возможно определение содержания всех элементов (кроме водорода и гелия).

На рис. 1 приведены типичные оже-спектры, снятые с исходных и обработанных поверхностей стальных образцов. Из химического состава поверхностных слоев видно, что в исходной поверхности стали азот не обнаружен. После обработки в режиме чистового обтачивания резцами из композита 10 ($t = 0,3$ мм; $S = 0,08$ мм/об; $v = 220$ м/мин; без СОТС) в оже-спектрах наглядно видно присутствие азота, который является одним из основных компонентов композитов на базе кубического нитрида бора. Этот факт свидетельствует об активном процессе диффундирования, происходящем на площадках контакта инструмента с образцом в процессе обработки.

На рис. 2 показана зависимость процентного содержания азота в примесях поверхностных слоев стальных образцов от скорости чистового точения. С увеличением скорости обработки процент содержания азота растет, что объясняется ростом температуры и, соответственно, коэффициента диффузии.

Определенный теоретический и практический интерес представляет влияние сочетания таких факторов, как размер зерна и плотность дислокации на предел усталости [7]. Как видно из рис. 3, в крупнозернистых поверхностных слоях металла зарождение и развитие усталостных трещин происходит более интенсивно, чем в мелкозернистых. Это связано с барьерным действием границ зерен, которые препятствуют движению дислокаций по одной из кристаллографических плоскостей. Физически подобная картина выглядит следующим

образом: чем больше зерен в единице объема, тем больше границ зерен и, тем самым, больше барьеров для распространения зарождающихся усталостных трещин. Поэтому одним из способов повышения усталостной прочно-

сти является создание наклепа в поверхностных слоях различными технологическими методами за счет измельчения зерен под действием силовых факторов.

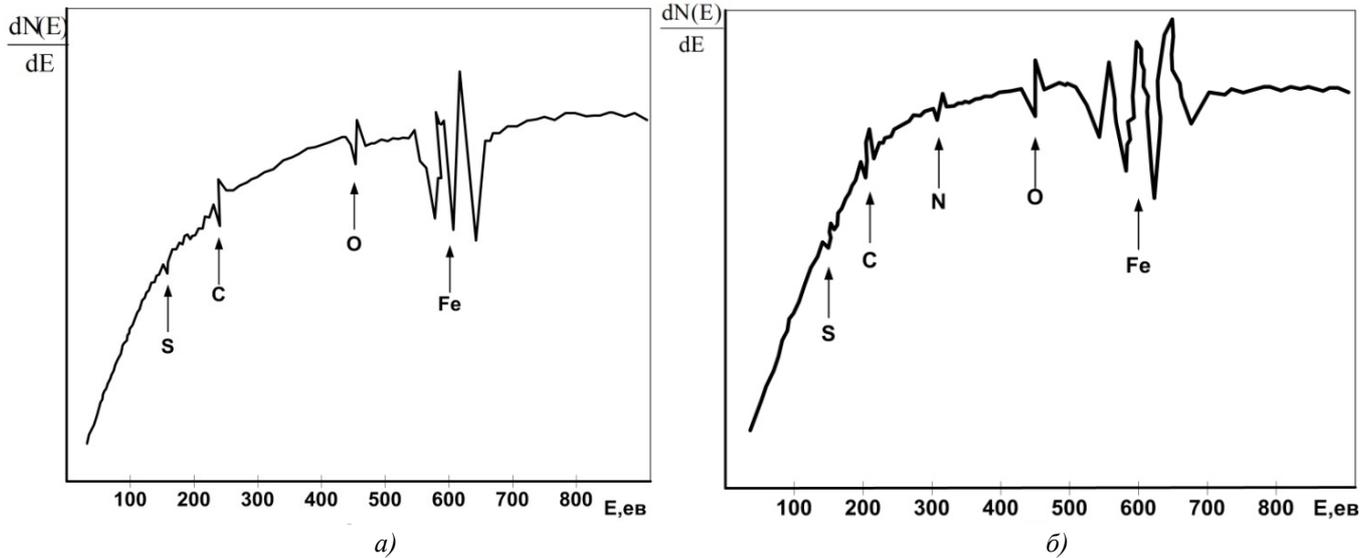


Рис. 1. Типичные ОЖЕ-спектры поверхности закаленных образцов из стали 65Г:

а – основа; б – поверхность, обработанная композитом 10

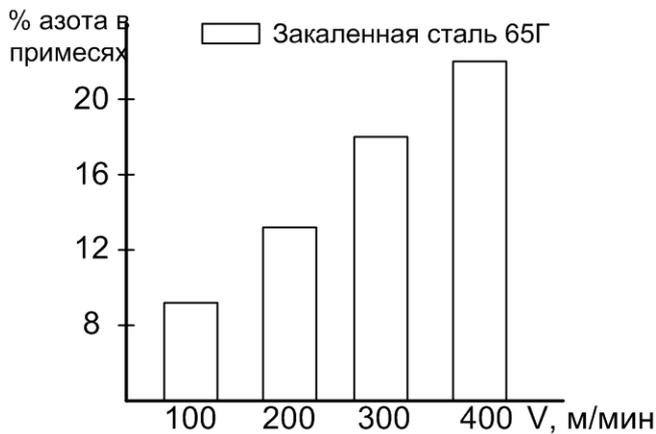


Рис. 2. Зависимости процентного содержания азота в примесях поверхностного слоя от скорости точения закаленной стали 65Г

В то же время при наличии очень мелкого зерна и плотности дислокаций, превышающих $1,1 \cdot 10^{12} \text{ см}^{-2}$, материал начинает работать в условиях хрупкого разрушения, что резко снижает его предел усталости. Подобное явление часто называют «перенаклепом».

Что касается практического использования явления массопереноса определенных химических элементов из инструментального материала в обрабатываемую поверхность, то, прежде всего, это может быть использовано для увеличения износостойкости трибосистем прецизионных пар трения. В реальной ситуации, когда зазоры в парах трения измеряются микрометрами, очень важно, прежде всего, обеспечить значительное уменьшение периода приработки, что увеличит общий ресурс пары.

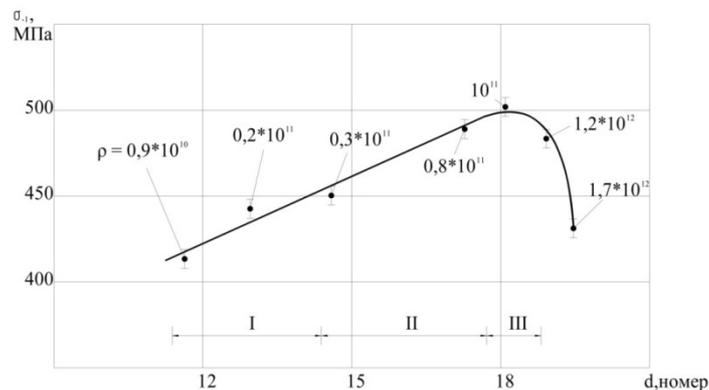


Рис. 3. Влияние плотности дислокаций на предел выносливости закаленной стали 45:

I – точение керамикой Вок-60; II – однопроходное алмазное выглаживание; III – двухпроходное алмазное выглаживание

Практически следует избегать назначения окончательной обработки поверхностей отверстия и вала резцами из композитов на основе нитрида бора, что, как показала наша практика, увеличит адгезионную составляющую коэффициента трения за счет диффунди-

рования в контактирующие поверхности азота.

Таким образом, используя для повышения долговечности ответственных деталей машин ряда нетрадиционных ПКПС, можно реально увеличить ресурс изделий машиностроения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Теория** пластических деформаций металлов / Под ред. Е.П. Ункова, А.Г. Овчинникова. – М.: Машиностроение, 1983. – 598с.
2. **Суслов, А.Г., Федоров, В.П., Горленко, О.А.** и др. Технологическое обеспечение и повышение эксплуатационных свойств деталей и их соединений / Под общей ред. А.Г. Суслова. – М.: Машиностроение. 2006. – 448с.
3. **Методы** анализа поверхностей / Под ред. А. Зандерны. – М.: Мир, 1979. – 582с.
4. **Тотай, А.В., Акулич, П.П.** Экзоэлектронная эмиссия как комплексный критерий физико-химического состояния поверхностного слоя деталей машин // Сб. науч. тр. «Современные процессы механической обработки инструментами из СТМ и качество поверхности деталей машин. – Киев: НАН Украины. НСМ им. В.Н. Бакуля, 2009. – 272с.
5. **Сулима, А.М., Шулов, В.А., Ягодкин, Ю.Д.** Поверхностный слой и эксплуатационные свойства деталей машин. – М.: Машиностроение, 1988. – 240с.
6. **Тотай, А.В., Горленко, О.А., Федоров, В.П.** Микролегирование азотом поверхностей конструкционных материалов при финишных методах обработки инструментами на основе кубического нитрида бора // Вестник БГТУ. 2013. № 4. – С. 95-100.
7. **Тотай, А.В.** Теория и практика технологического обеспечения усталостной прочности деталей машин // Научно-технические технологии в машиностроении. – 2018. – №10 (64). – С. 38-42.

REFERENCES

1. *Theory of Metal Plastic Deformations* / under the editorship of E.P. Unskova, A.G. Ovchinnikova. – M.: Mechanical Engineering, 1983. – pp. 598.
2. **Suslov, A.G., Fyodorov, V.P., Gorlenko, O.A.** et al. *Technological Support and Increase of Operation Properties of Parts and Their Joints* / under the general editorship of A.G. Suslov. – M.: Mechanical Engineering. 2006. – pp. 448.
3. *Methods for Surface Analysis* / under the editorship of A.Zanderna. – M.: World, 1979. – pp. 582.
4. **Totay, A.V., Akulich, P.P.** Exoelectronic emission as complex criterion of physical-chemical state of machinery surface layer // *Proceedings “Modern Machining Processes with SHM Tools and Quality of Machinery Surfaces.* – Kiev: NAS of the Ukraine. Bakul NSM, 2009. – pp. 272.
5. **Sulima, A.M., Shulov, V.A., Yagodkin, Yu.D.** *Surface Layer and Operation Properties of Machinery.* – M.: Mechanical Engineering, 1988. – pp. 240.
6. **Totay, A.V., Gorlenko, O.A., Fyodorov, V.P.** Nitrogen micro-alloying of structural material surfaces during finishing methods based on cubic boron nitride // *Bulletin of BSTU.* 2013. No.4. – pp. 95-100.
7. **Totay, A.V.** Theory and practice of technological support of machinery fatigue strength // *Science Intensive Technologies in Mechanical Engineering.* – 2018. – No.10 (64). – 38-42.

Рецензент д.т.н. М.Г. Шалыгин

УДК 621.91.01

DOI:10.30987/2223-4608-2020-2020-1-30-33

Б.М. Базров, д.т.н.

(ФГБУН ИМАШ им. А.А. Благонравова, 101990, Москва, Малый Харитоньевский переулок, д. 4)

E-mail: modul_lab@mail.ru

Совершенствование понятийного аппарата теории базирования

Приведен анализ терминов и понятий ГОСТ 21495-76 «Базирование и базы в машиностроении». Предложены уточнения понятий некоторых терминов и введение дополнительных терминов с их определениями.

Ключевые слова: предмет базирования; базирование; база; виды баз; опорная точка; точка контакта.

B.M. Bazrov, Dr. Sc. Tech.

(FSBUS Blagonravov IMACH, 4, Maly Kharitonievsky Alleyway, Moscow, 101990)

Improvement of conceptual apparatus of basing theory

The analysis of terms and concepts of RSS 21495-76 “Basing and Bases in Mechanical Engineering” is shown. There are offered concept specifications of some terms and introduction of additional terms with their definitions.

Keywords: subject of basing; basing; base; base kinds; reference point; contact point.