



Ассоциация технологов-машиностроителей Украины

Академия технологических наук Украины

Институт сверхтвердых материалов

им. В.Н. Бакуля НАН Украины

Национальный технический университет Украины

«Киевский политехнический институт»

Союз инженеров-механиков НТУ Украины «КПИ»

ООО «НПП РЕММАШ» (Украина)

ООО «ТМ.ВЕЛТЕК» (Украина)

Украинский государственный университет железнодорожного транспорта

ОАО «Ильницкий завод МСО» (Украина)

Белорусский национальный технический университет

ГНПО «Центр» НАН Беларуси

Ассоциация инженеров-трибологов России

Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова РАН

Издательство «Машиностроение» (Россия)

ООО «Композит» (Россия)

Каунасский технологический университет (Литва)

Машиностроительный факультет Белградского университета (Сербия)

## ***ИНЖЕНЕРИЯ ПОВЕРХНОСТИ И РЕНОВАЦИЯ ИЗДЕЛИЙ***

*Материалы 17-й Международной  
научно-технической конференции*

*(29 мая–02 июня 2017 г., г. Одесса)*

Киев – 2017

**Инженерия поверхности и реновация изделий:** Материалы 17-й Международной научно-технической конференции, 29 мая–02 июня 2017 г., г. Одесса – Киев: АТМ Украины, 2017.– 264 с.

### **Научные направления конференции**

- Научные основы инженерии поверхности:
  - материаловедение
  - физико-химическая механика материалов
  - физикохимия контактного взаимодействия
  - износо- и коррозионная стойкость, прочность поверхностного слоя
  - функциональные покрытия и поверхности
  - технологическое управление качеством деталей машин
  - вопросы трибологии в машиностроении
- Технология ремонта машин, восстановления и упрочнения деталей
- Метрологическое обеспечение ремонтного производства
- Экология ремонтно-восстановительных работ
- Сварка, наплавка и другие реновационные технологии на предприятиях горнометаллургической, машиностроительной промышленности и на транспорте

**Материалы представлены в авторской редакции**

© АТМ Украины,  
2017 г.

кова и др. // Восточно – Европейский журнал передовых технологий. – 2016.

2. Чумаченко Т.В. Технологическое обеспечение качества и производительности обработки поверхностей шеек валов роторов газовых турбин, напыленных минералокерамикой: Дис...канд. техн. наук. – Одесса 2011.

3. Контактные температуры поверхности при шлифования круга из КБН шеек вала газовой турбины, наплавленных мартенситно – стареющей сталью и их влияние на прочностные характеристики наплавленного слоя / В.Г. Лебедев, Н.Н. Клименко, Е.А. Луговская, А.В. Овчаренко // Наукові нотатки. – Луцьк, 2016. – вып. 53.

4. Резников А.Н. Теплофизика резания.– М.: Машиностроение, 1969.

*Лебедев В.Г., Чумаченко Т.В.* Одесский национальный политехнический университет, Одесса, Украина

## **КИНЕТИКА ФАЗОВО-СТРУКТУРНЫХ ПРЕВРАЩЕНИЙ ПРИ ШЛИФОВАНИИ ЗАКАЛЕННОЙ СТАЛИ**

Фазово-структурные изменения в поверхностном слое закаленной стали при шлифовании называют шлифовочными прижогами. Наиболее часто тепловые шлифовочные дефекты образуются у цементруемых, улучшаемых высокоуглеродистых сталях низко- и средне легированных, со структурой мартенсита или отпущенного мартенсита [1–3]. Прижеги снижают прочность, надежность и долговечность шлифованной поверхности, а, следовательно, и всей детали [3].

Для аналитического исследования фазово-структурных превращений в поверхностном слое при шлифовании проведены следующие исследования.

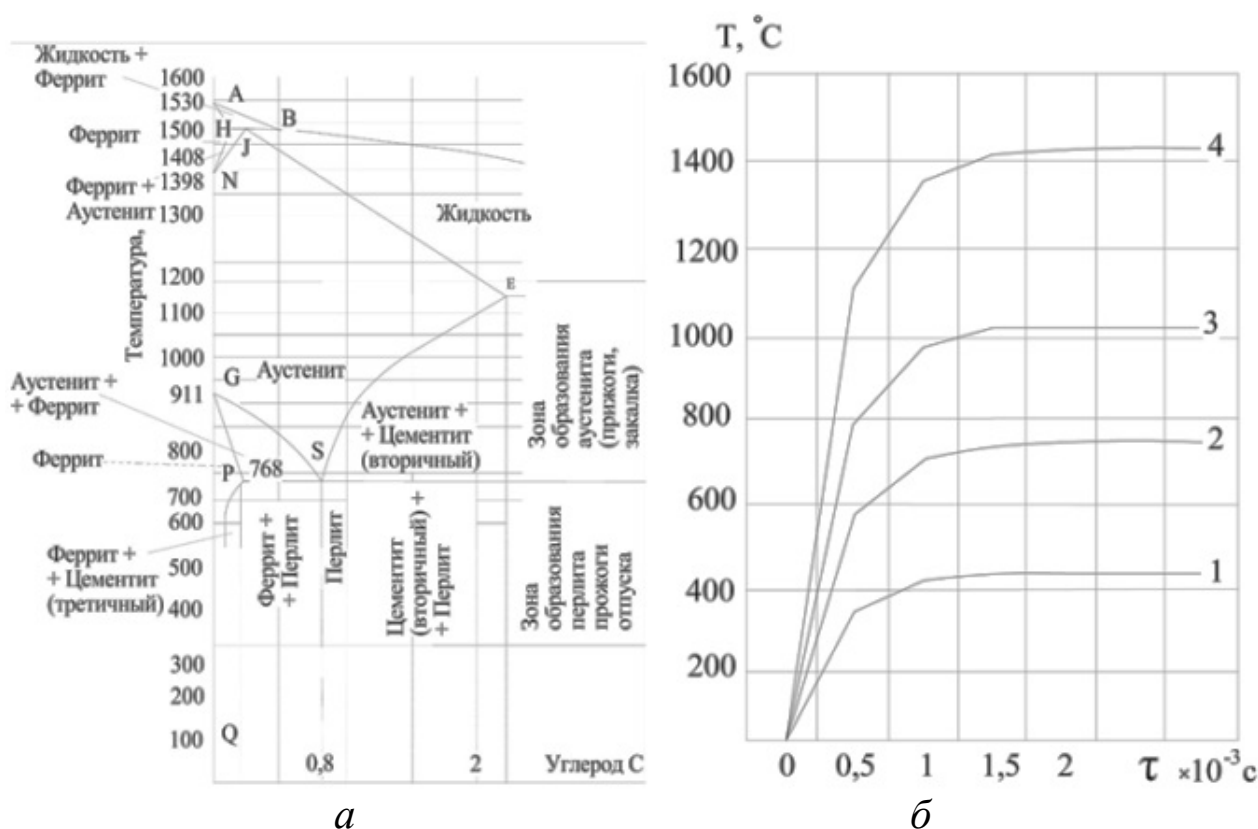
1. Определены скорости нагрева в диапазоне 3-го превращения отпуска и в диапазоне выше точки  $A_{c1}$ , причем скорости нагрева в районе температур 3-го превращения отпуска определялись для двух случаев: 1-й температура не повышается выше  $A_{c1}$  и 2-й случай, когда температура повышается выше  $A_{c1}$ .

2. Определена вероятность скоростного отпуска мартенсита и образование аустенита по схеме мартенсит – перлит – аустенит, на основе

чего определены температуры, при которых происходит образование аустенита для различных сталей, в зависимости от химсостава.

3. Определены предельные температуры, которые не вызывают тепловых дефектов и принципы определения режимов шлифования, которые обеспечивают не превышение предельных температур.

Скорости нагрева при шлифовании оцениваются как  $10^6$ – $10^8$  °C/с. в ряде случаев при таких условиях возможен диффузионный распад мартенсита и образование перлитных структур. В работе [3] приводятся скорости нагрева и температурные интервалы, при которых возможен диффузионный распад мартенсита. Совмещение кривых нагрева рассчитанных по материалам [1, 2] и стальной части диаграммы показаны на рис. 1.



**Рисунок 1 – Совмещение кривых нагрева и стальной части диаграммы: а – таблица железо–углерод; б – график роста температуры в зависимости от глубины резания**

Для получения широкого диапазона контактных температур был выбран шлифовальный круг зернистости 12 (Э9А12СМ1К6) из электрокорунда и режимы шлифования  $V_{кр} = 35$  м/с,  $V_{дет} = V_{и} = 0.66$  в/с, глубины шлифования  $t = 0,01; 0,015; 0,02; 0,04$  мм. Измеряя скорости нагрева в диапазоне температур от 400 °C до  $A_{с1}$ , можно получить следующие значения:  $V_4 = 3 \cdot 10^6$  °C/с;  $V_3 = 2 \cdot 10^6$  °C/с;  $V_2 = 0,3 \cdot 10^6$  °C/с.

Таким образом, можно сделать вывод, что в подавляющем большинстве случаев при нагреве закаленной поверхности детали в районе температур 3-го превращения отпуска и выше распад мартенситной структуры и образование аустенита происходит по схеме М–П–А.

Сопоставляя скорость диффузии углерода в  $Fe_\gamma$  с учетом наличия легирующих элементов и концентрации самого углерода, можно получить значения температур образования аустенита для различных сталей (табл. 1).

**Таблица 1 – Температура образования аустенита  $A_{c1}$  при диффузионном  $\alpha \rightarrow \gamma$  превращении под действием контактной температуры шлифования**

Исходные данные			Марка стали			
$v_{кр}$ м/с	$v_{дл}$ м/с	$v_{нл}$ °C/с	45 0,45% С	У8 0,8% С	12Х2Н4А цементация +закалка 1,2% С	ШХ15 1% С
35	0,583	3257262	797	797	870	870
45	0,75	5390	798	798	871	871
50	1,0	10353422	799	799	872	872

Примечание: средняя скорость нагрева  $v_n$ , °C/с рассчитана в интервале 700–1500 °C

### Выводы

1. Скорости нагрева поверхности при шлифовании в диапазоне температур при которых возможно 3-е превращение отпуска составляют  $3 \cdot 10^6$  °C/с;  $- 0,3 \cdot 10^6$  °C/с.

2. Образование аустенита в поверхностном слое детали при шлифовании в большинстве случаев происходит за счет диффузионного механизма.

3. Температура образования аустенита при шлифовании для доэвтектоидных, эвтектоидных и заэвтектоидных сталей находится в диапазоне 800–890 °C и имеет тенденцию к повышению при увеличении скорости нагрева.

Образовавшийся аустенит подвергается интенсивному наклепу режущими зернами и имеет искаженную наклепом кристаллическую решетку.

При обработке температура шлифования должна быть не выше температур образования аустенита, величина которых рассчитывается по зависимостям данной работы.

## Литература

1. Закономерности образования прижогов отпуска при шлифовании подшипниковых сталей / В.Г. Лебедев, Н.Н. Клименко // Перспективні технології та прилади. – 2015. – № 6. – С. 35–40.
2. Механизм образования прижогов при шлифовании деталей из закаленных сталей / В.Г. Лебедев, Н.Н. Клименко, С.А. Аджелат, // Наукові нотатки. – Луцьк, 2013. – вып 40. – С. 141–144.
3. Отпуск мартенсита в ходе быстрого нагрева / Д.А. Мирзоев, А.А. Мирзоев, П.В. Чирков // Вестник ЮУрГУ, серия «Математика. Механика. Физика» – 2016, – т. 8, № 1. – С. 61–65

*Лебедев В.Г., Чумаченко Т.В., Фроленкова О.В.*  
Одесский национальный политехнический  
университет, Одесса, Украина

## **АНАЛИТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ КОНТАКТНЫХ ТЕМПЕРАТУР И ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ ПО ГЛУБИНЕ НАПЫЛЕННОГО ТЕРМОБАРЬЕРНОГО СЛОЯ ZrO<sub>2</sub> ПРИ ШЛИФОВАНИИ АБРАЗИВНЫМИ ЭЛЬБОРОВЫМИ И АЛМАЗНЫМИ КРУГАМИ**

По различным причинам большинство деталей современного машиностроения выходит из строя, и требуют быстрого, экономически выгодного и качественного восстановления. Одно из направлений, где возникает острая необходимость решения задач, связанных с повышением надежности и улучшения эксплуатационных характеристик – это ресурс газотурбинных установок для чего используются т.н. термобарьерные покрытия, которые наносятся на рабочие поверхности деталей ГТУ.

Покрытия, которые наносятся газотермическими методами, придают рабочим поверхностям деталей повышенные твердость, термостойкость, антикоррозионные и многие другие свойства.

В настоящее время считается перспективным материалом керамика на основе диоксида циркония (ZrO<sub>2</sub>) частично стабилизированного оксидом иттрия (Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) и керамика на основе оксида алюминия (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). Керамика на основе диоксида циркония отличается высокой прочностью и устойчивостью к образованию трещин; низкая тепло-

<i>Лавров А.С.</i> НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ПРОГРЕСС КАК ВАЖНЕЙШИЙ ФАКТОР ЭКОНОМИЧЕСКОГО РОСТА И ОБЕСПЕЧЕНИЯ СТАБИЛЬНОЙ РАБОТЫ ПРЕДПРИЯТИЯ	84
<i>Лавров С.Н., Лавров А.С., Чепиль В.В.</i> ПОРОШКОВЫЕ ПРОВОЛОКИ ДЛЯ РЕМОНТА ВАЛКОВ ЦЕНТРИФУГ ПРОИЗВОДСТВА МИНЕРАЛЬНОЙ ВАТЫ	87
<i>Латинова М.И., Домуладжанова Ш.И., Домуладжанов И.Х.</i> БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ – КАК НАУКА	89
<i>Лебедев В.Г., Клименко Н.Н.</i> ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ КОНТАКТНОЙ ТЕМПЕРАТУРОЙ ШЛИФОВАНИЯ	94
<i>Лебедев В.Г., Луговская Е.А., Овчаренко А.В.</i> АНАЛИТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ИЗМЕРЕНИЙ СИЛ РЕЗАНИЯ ПРИ ШЛИФОВАНИИ НАПЛАВЛЕННОГО СЛОЯ ИЗ МАРТЕНСИТНО– СТАРЕЮЩЕЙ СТАЛИ, ИСПОЛЬЗУЯ ШЛИФОВАЧНЫЕ КРУГИ ИЗ: ЭЛЬБОРА, АЛМАЗА И АБРАЗИВА	97
<i>Лебедев В.Г., Луговская Е.А., Овчаренко А.В.</i> АНАЛИТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ИЗМЕРЕНИЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ПРИ ШЛИФОВАНИИ НАПЛАВЛЕННОГО СЛОЯ ИЗ МАРТЕНСИТНО– СТАРЕЮЩЕЙ СТАЛИ, ИСПОЛЬЗУЯ ШЛИФОВАЧНЫЕ КРУГИ ИЗ: КБН, АЛМАЗА И АБРАЗИВА	99
<i>Лебедев В.Г., Чумаченко Т.В.</i> КИНЕТИКА ФАЗОВО-СТРУКТУРНЫХ ПРЕВРАЩЕНИЙ ПРИ ШЛИФОВАНИИ ЗАКАЛЕННОЙ СТАЛИ	102
<i>Лебедев В.Г., Чумаченко Т.В., Фроленкова О.В.</i> АНАЛИТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ КОНТАКТНЫХ ТЕМПЕРАТУР И ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ ПО ГЛУБИНЕ НАПЫЛЕННОГО ТЕРМОБАРЬЕРНОГО СЛОЯ $ZrO_2$ ПРИ ШЛИФОВАНИИ АБРАЗИВНЫМИ ЭЛЬБОРОВЫМИ И АЛМАЗНЫМИ КРУГАМИ	105
<i>Лопата Л.А., Волков Ю.В., Соловых А.Е., Катеринич С.Е.</i> ВОССТАНОВЛЕНИЕ ВАЛОВ ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРОВ ЭЛЕКТРОКОНТАКТНЫМ ПРИПЕКАНИЕМ ДИСКРЕТНЫХ ПОКРЫТИЙ	108

# **ИНЖЕНЕРИЯ ПОВЕРХНОСТИ И РЕНОВАЦИЯ ИЗДЕЛИЙ**

Материалы 17-й Международной научно-технической  
конференции, 29 мая–02 июня 2017, г. Одесса

Компьютерная верстка: Копейкина М.Ю.

Подписано в печать 12. 05. 2017

Формат 60×84×1/16. Бумага типографская

Печать офсетная. Уч. изд. л. 22,0.

Тираж 150 экз.

Ассоциация технологов-машиностроителей Украины  
04074, г. Киев, ул. Автозаводская, 2