

УДК 621.923.6
DOI: 10.12737/20242

В.А. Панайоти

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТВЕРДОЙ СМАЗКИ НА ПОВЕРХНОСТНОЕ УПРОЧНЕНИЕ ИНСТРУМЕНТОВ ИЗ БЫСТРОРЕЖУЩЕЙ СТАЛИ ПРИ ЗАТОЧКЕ

Рассмотрен механизм упрочнения поверхности быстрорежущей стали при шлифовании. Разработана методика комплексного исследования физико-механических свойств приповерхностных слоев. Представлены результаты исследования при использовании смазочного материала. Проанализиро-

ван механизм структурных и фазовых превращений и показана эффективность применения твердых смазочных материалов в процессе обработки.

Ключевые слова: твердая смазка, эльборовый круг, заточка, быстрорежущая сталь, наклеп, глубина наклепа, степень наклепа.

V.A. Panayoty

ANALYSIS OF SOLID LUBRICATION EFFECT UPON SURFACE HARDENING OF HIGH-SPEED STEEL TOOLS DURING SHARPENING

The mechanism of high-speed steel surface hardening during grinding is considered, the system for a complex investigation of physic-stress-strain properties of surface layers is developed and the investigation results at the oil use are presented. It is determined that the value and degree of cold-hardening of a high-speed steel surface layer is a thermo-dependent process, the mechanism of structural and phase changes is analyzed and the efficiency of solid lubrication use in working process is shown. Oil coating on an abrasive tool during results in a natural decrease of cold-hardening at all values of a cross-feed motion. This is caused both by

cutting force decrease, and by the decrease of grinding temperature because of the friction force reduction at the interaction of high-speed steel with an oiled disk. The regularities of austenite quantity changes after steel grinding under different conditions confirm phase changes influence upon a value and a degree of cold-hardening. The results obtained allow choosing reasonably cutting modes and characteristics of cBN disks at oil coating during sharpening.

Key words: solid lubrication, cBN disk, sharpening, high-speed steel, cold-hardening, cold-hardening depth, cold-hardening degree.

Быстрорежущая сталь является одним из основных материалов, применяемых для изготовления лезвийных режущих инструментов, и отличается высокой надежностью при эксплуатации и технологичностью при изготовлении, что особенно важно для использования в условиях автоматизированного производства. Однако современные марки этой стали имеют два существенных недостатка: узкий диапазон температуры для нагрева под закалку и зависимость качества поверхностного слоя от условий шлифования [1]. Одной из ответственных операций является заточка и доводка режущего инструмента, при которой к поверхности лезвия инструмента предъявляются особо высокие требования по шероховатости, твердости приповерхностных слоев и фазовому составу. Поэто-

му исследование состояния поверхностных слоев лезвийных режущих инструментов после заточки имеет важное значение, особенно в отсутствие возможности применения смазочно-охлаждающих жидкостей. Использование твердых смазок, наносимых в процессе шлифования, позволяет наряду с улучшением режущей способности абразивного инструмента значительно улучшить и качественные показатели обработанной поверхности [2 - 4].

Исследованию процессов, происходящих при заточке в поверхностных слоях быстрорежущей стали в условиях нанесения твердого смазочного материала, и посвящена данная статья.

Исследования проводили на универсальном модернизированном заточном станке модели ЗА64Д, оснащенный при-

способлением для нанесения твердого смазочного материала с заданным расходом смазки. Микроструктуру и поверхностное упрочнение шлифованной поверхности быстрорежущей стали изучали металлографическим и микродюретрическим методами, для чего готовили косые шлифы, позволяющие наблюдать приповерхностный слой на разной глубине. Для выявления микроструктуры выполняли химическое травление раствором азотной кислоты. Поверхностный слой исследовали путем измерения микротвердости вдавливанием алмазной пирамиды на приборе ПМТ-3.

Температуру контролировали с помощью термопары. Для изучения закономерностей влияния технологических факторов шлифования на изменение фазового состава поверхности быстрорежущей стали был проведен рентгеноструктурный анализ ионизационным методом на дифрактометре ДРОН-1.

На рис. 1 представлена микроструктура поверхностного слоя стали Р9Ф5 при обычном сухом шлифовании (а) и с нанесением твердой смазки (б).

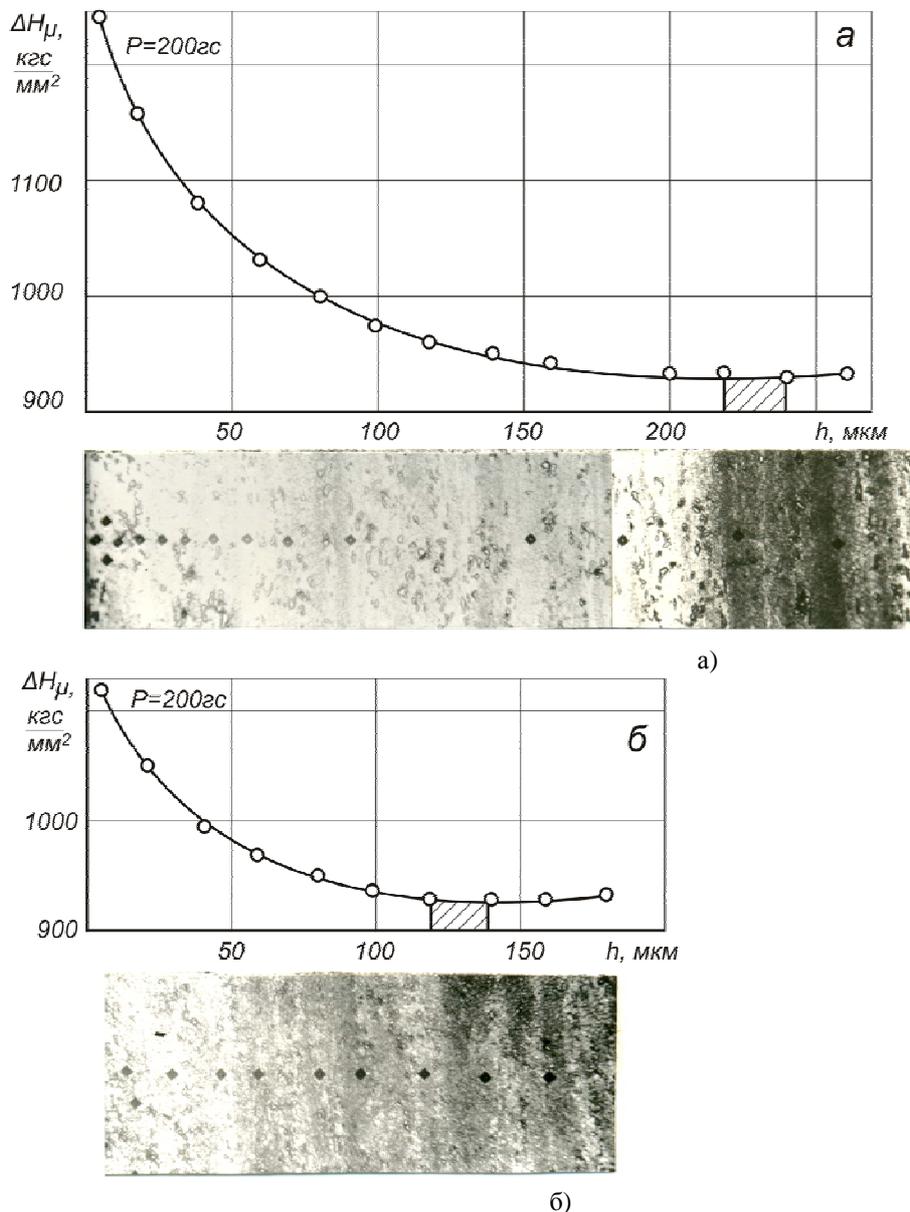


Рис. 1. Микроструктура и микротвердость поверхностного слоя стали Р9Ф5 после шлифования кругом ЛО8 С1 100% С10 ($V=19$ м/с; $S=1$ м/мин; $t=0,02$ мм/дв.ход): а – без нанесения смазки; б – со смазкой

При травлении выявляется светлая приповерхностная зона, степень травимости которой увеличивается по мере удаления от поверхности образца. Плохая травимость поверхностного слоя объясняется пластическим деформированием поверхности обрабатываемого металла (наклепом) в результате контактного силового взаимодействия зльборового инструмента со шлифуемым материалом. Глубину наклепа шлифованной стали уточняли по изменению микротвердости от поверхности к центру образца. Из кривых распределения микротвердости по глубине видно, что при использовании предложенной композиции смазки значение микротвердости шлифованной поверхности стали Р9Ф5 уменьшается с 1250 до 1130 кгс/мм², что свидетельствует о снижении величины пластической деформации металла примерно на 10%.

Экспериментальные данные распределения микротвердости по глубине наклепанной зоны были обработаны в поллогарифмических координатах $\lg \Delta H_{\mu} - h$, где ΔH_{μ} – разность значений микротвердости на поверхности металла и в его сердцевине. В указанных координатах были получены прямые линии. Следовательно, распределение микротвердости в зоне наклепа имеет экспоненциальный характер, т.е. описывается уравнениями: при шлифовании с твердой смазкой - $\Delta H_{\mu} = 213,1 \exp(-0,01h)$, без нее - $\Delta H_{\mu} = 357 \exp(-0,01h)$.

Экспоненциальный закон изменения микротвердости по глубине дефектного слоя свидетельствует о том, что процесс деформирования металла при шлифовании является термически активируемым, а следовательно, контролируется изменением температуры от поверхности к центру образца.

При увеличении поперечной подачи от 0,01 до 0,04 мм/дв.ход глубина деформированной зоны возрастает после шлифования с применением смазки с 75 до 180 мкм, а без нее – с 160 до 230 мкм. Наблюдаемое снижение глубины деформированного слоя при нанесении смазочного материала на режущую поверхность зльборо-

вого круга в 1,3-2,1 раза обусловлено уменьшением контактной температуры при шлифовании, а также тангенциальной составляющей силы резания.

На рис. 2 показано изменение величины наклепа стали Р9Ф5 при шлифовании с различной поперечной подачей. Как в условиях обычного шлифования (рис. 2а), так и при нанесении смазки (рис. 2б) полученные кривые носят экстремальный характер. Максимальная величина наклепа наблюдается при подаче 0,02 мм/дв.ход; затем рассматриваемая характеристика монотонно убывает.

Чем больше поперечная подача, тем выше должна быть степень пластической деформации поверхностного слоя, вследствие увеличения силы резания и контактной температуры [4]. Однако деформированное состояние металла является термодинамически неустойчивым. При определенной термической активации самопроизвольно происходят явления, возвращающие металл в более устойчивое структурное состояние (возврат). Снятие искажений кристаллической решетки и другие внутризерновые процессы особенно активно протекают при повышении температуры. Это происходит на первой стадии устранения следов наклепа при нагреве, называемой отдыхом (начальная стадия возврата).

Следует отметить, что отдых протекает не в процессе деформации, а сразу же после её окончания и тем быстрее, чем выше температура [5; 6]. Следовательно, температура при шлифовании, с одной стороны, способствует повышению величины пластической деформации (наклепа), а с другой - снимает наклеп. Такое двойственное влияние температуры и определяет характер изменения величины наклепа поверхностного слоя.

Определенное влияние на снижение микротвердости может оказывать и появление дополнительного количества аустенита за счёт превращения части мартенсита при температурных флуктуациях [7]. Чем выше температура в зоне резания, тем больше образуется аустенита, который, обладая низкими прочностными свойства-

ми, способствует снижению микротвердости шлифованной поверхности быстрорежущей стали. Действием всех указанных факторов объясняется появление максимума на кривых, представленных на рис. 2б.

Нанесение смазочного материала на абразивный инструмент в процессе шлифования приводит к закономерному снижению величины наклепа при всех значениях поперечной подачи. Это вызвано снижением как силы резания, так и температуры шлифования (рис. 3а) вследствие уменьшения сил трения при взаимодействии быстрорежущей стали со смазанным кругом. Закономерности изменения количества аустенита после шлифования стали

в разных условиях подтверждают влияние фазовых превращений на глубину и степень наклепа (рис. 3б).

Аналогичные кривые распределения микротвердости в деформированной зоне металла получены и проанализированы для исследованных марок быстрорежущей стали после шлифования на различных режимах эльборовыми кругами разной зернистости и твердости.

Установлено, что при изменении как технологических факторов, так и характеристик абразивного инструмента основные полученные закономерности соблюдаются, но реализуются в значительно меньшей степени, что объясняется облегчением силовой и температурной нагрузки.

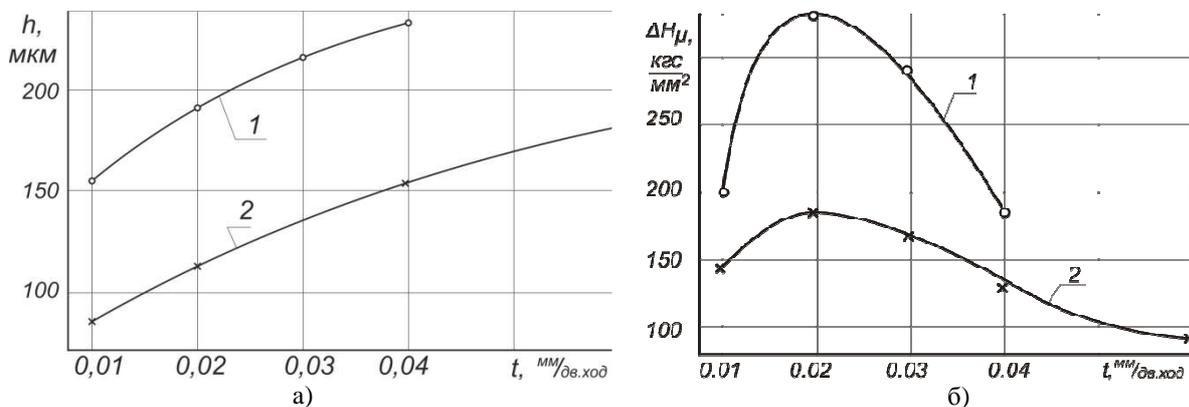


Рис. 2. Изменение глубины (а) и степени наклепа (б) стали Р5Ф5 после шлифования с различной поперечной подачей кругом ЛО8 С1 100% С10 ($V=19$ м/с; $S=1$ м/мин): 1 – без нанесения смазки; 2 – с нанесением смазки

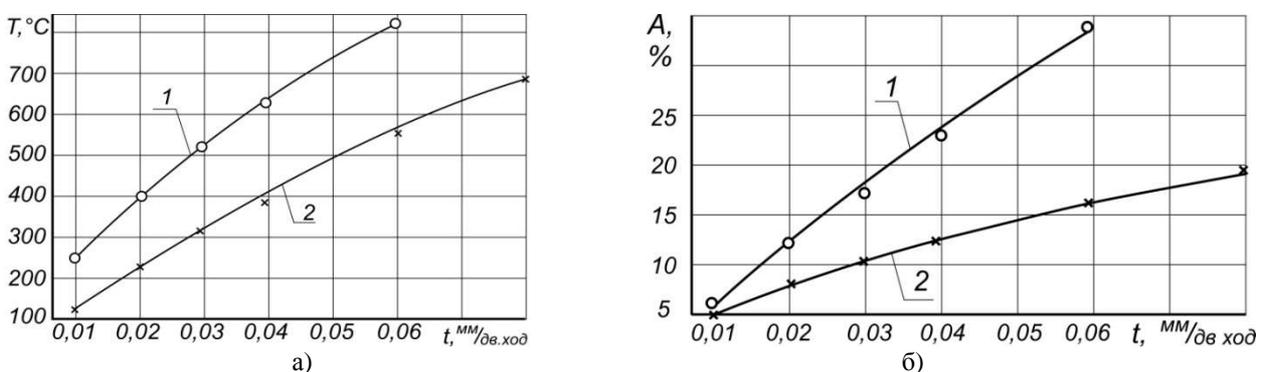


Рис. 3. Изменение температуры (а) при шлифовании и количества аустенита (б) после шлифования стали Р5Ф5 с различной поперечной подачей кругом ЛО8 С1 100 % С10 ($V=19$ м/с; $S=1$ м/мин): 1 – без нанесения смазки; 2 – с нанесением смазки

Таким образом, установлено, что наклеп поверхностного слоя быстрорежущей стали является термозависимым процессом, проанализирован механизм струк-

турных и фазовых превращений и показана эффективность применения твердых смазочных материалов в процессе обработки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Геллер, Ю.А. Инструментальные стали / Ю.А. Геллер. – 5-е изд. - М.: Metallurgy, 1983. - 568 с.
2. Смазочно-охлаждающие технологические средства и их применение при обработке резанием: справочник / под общ.ред. Л.В. Худобина. - М.: Машиностроение, 2006.-544 с.
3. Панайоти, В.А.Разработка состава твердой смазки для заточки инструмента из сверхтвердых материалов / В.А. Панайоти // Фундаментальные исследования и инновационные технологии в машиностроении: сб. науч. тр. междунар. науч. конф. (г. Москва, июнь 2010 г.). - М.: Машиностроение, 2010. – С. 173-175.
4. Панайоти, В.А. Повышение эффективности шлифования при использовании твердых смазок / В.А. Панайоти // Фундаментальные исследо-

5. Сторожев, М.В. Теория обработки металлов давлением / М.В. Сторожев, Е.А. Попов. – М.: Машиностроение, 1977. – 423 с.
6. Кушнир, А.П. Имитационное моделирование прохождения твердого тела через преграду / А.П. Кушнир //Вестник МГТУ МИРЭА. – 2015. - № 4 (9). – Т. 2. – С. 116-126.
7. Влияние твердых смазок на фазовый состав шлифованной поверхности быстрорежущих сталей: Фундаментальные исследования и инновационные технологии в машиностроении: науч. тр. IV-й междунар. науч. конф. - М.: ИМАШ РАН.; Спектр, 2015. – С.189-190.

1. Heller Yu.A. Tool Steels / Yu.A. Heller. – 5-th Edition. - M.: Metallurgy, 1983. – pp. 568.
2. Lubricant-Cooling Agents and Their Application at Cutting: Reference Book / under the general editorship of L.V. Khudobin. - M.: Mechanical Engineering, 2006.- pp.544.
3. Panayoty, V.A. Solid lubricant composition for superhard alloy tool sharpening / V.A. Panayoty // Fundamental investigations and innovation technologies in mechanical engineering: Proceedings of Inter. Scientific Conf. (Moscow, June, 2010). - M.: Mechanical Engineering, 2010. – pp. 173-175.
4. Panayoty, V.A. Grinding efficiency increase at solid lubricant use / V.A. Panayoty // Proceedings of the 11th Inter. Scientific Conf. Fundamental Investigations and Innovation Technologies in Mechanical

- Engineering: M.: IMASH RAS,2012. – pp. 337-338.
5. Storozhev, M.V. Metal Forming Theory / M.V. Storozhev, E.A. Popov. – M.: Mechanical Engineering, 1977. – pp. 423.
6. Kushnir, A.P. Simulation of solid passing though barrier / A.P. Kushnir //Bulletin of MSTU MIREA. – 2015. - № 4 (9). – Vol. 2. – pp. 116-126.
7. Solid lubricant influence upon phase composition of high-speed steel grinded surface: Fundamental investigations and innovation technologies in mechanical engineering: Proceedings of IVth Inter. Scientific Conf. - M.: IMASH RAS: Spectrum, 2015. – pp.189-190.

Статья поступила в редколлегию 15.03.2016.

*Рецензент: д.т.н., профессор Брянского государственного технического университета
Киричек А.В.*

Сведения об авторах:

Панайоти Владимир Александрович, к.т.н., доцент Московского технологического университета, e-mail: lek00@mail.ru.

Panayoty Vladimir Alexandrovich, Can.Eng., Assistant Prof. of Moscow Technological University, e-mail: lek00@mail.ru.