

УДК 621.81

DOI: 10.18503/1995-2732-2016-14-2-63-68

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ДИНАМИЧЕСКОГО НАКЛЕПА БОЙКАМИ

Белевский Л.С., Белевская И.В., Ефимова Ю.Ю.

Магнитогорский государственный технический университет, Магнитогорск, Россия

Аннотация. В настоящей работе проведено экспериментальное исследование процесса пластического деформирования поверхностного слоя бойком перфоратора.

Для наноструктурирования поверхности могут быть использованы различные методы интенсивной пластической деформации (ИПД), в том числе ударное поверхностное пластическое деформирование (ППД). ППД может производиться чеканкой, которая осуществляется при возвратно-поступательном относительном перемещении инструмента (бойка). Известны различные приспособления и устройства для упрочнения динамическим поверхностным наклепом крупногабаритных пластинчатых и круглых деталей. Они достаточно сложны по конструкции и громоздки. Представляется целесообразным использовать для динамического наклепа ручной электрический перфоратор. Номинальное число ударов – 4000 уд./мин, энергия удара – 3,5 Дж, номинальная скорость рабочего шпинделя – 700 об/мин. Обработка поверхности образцов проводилась зубилом пикообразным из высокоуглеродистой легированной стали и буром диаметром 10 мм с твердосплавным наконечником. Перфоратор позволяет работать в режимах: удар или удар с кручением. При обработке зубилом использовались оба режима. Исследование показало, что использование перфоратора, даже с небольшой энергией удара 3,5 Дж, позволяет весьма эффективно упрочнять поверхностный слой. Максимальное упрочнение стали 20 достигало 83%, глубина упрочненного слоя – до 350 мкм. В поверхностном слое происходит формирование волокнистой структуры с толщиной волокон от 0,13 до 0,23 мкм и развиваются процессы фрагментации. Поверхностный слой с такими размерами фрагментов подобен наноструктурированному, получаемому в процессах ИПД. При режиме обработки «удар с кручением» размер фрагментов меньше, чем при ударе, что свидетельствует о более интенсивной пластической деформации. Наибольшее упрочнение как по уровню твердости, по глубине упрочненного слоя, так и измельчению микроструктуры достигается деформацией ударом бойка с наконечником из твердого сплава. Деформация бойками может быть использована для упрочнения галтелей, шпоночных пазов, сварных швов, наклепа с рифлением и других операций. Рассмотренный вариант динамического наклепа имеет свою технологическую нишу и его практическое применение требует научно-исследовательской подготовки.

Ключевые слова: динамический наклеп, электрический перфоратор, боек, удар, деформационное упрочнение, наноструктурирование.

Введение

Одним из путей повышения конструктивной прочности стальных изделий является получение ультрамелкого зерна или создание нанокристаллической структуры, что может быть достигнуто различными способами [1]. Получение такой структуры, особенно в крупногабаритных изделиях, связано со значительными трудностями. Гораздо проще осуществить наноструктурирование поверхностного слоя изделия. Для наноструктурирования поверхности могут быть использованы различные методы интенсивной пластической деформации (ИПД), в том числе ударное поверхностное пластическое деформирование [2–6].

Согласно ГОСТ 18296-72 различают статиче-

ское поверхностное пластическое деформирование (ППД) и ударное. При ударном ППД инструмент, рабочие тела или среда оказывают ударное действие на обрабатываемую поверхность. В ряде случаев вместо термина ППД используют термин «поверхностный наклёп» (ПН). ПН – это ППД с изменением структуры материала без его полной рекристаллизации. Одним из видов ППД является обработка проволочной щёткой. ППД происходит ударами концов ворса вращающейся проволочной щётки (ВПЩ) [7,8]. ППД может производиться чеканкой, которую осуществляют при возвратно-поступательном относительном перемещении инструмента и деформируемого материала. При упрочняющей чеканке происходит упрочнение поверхностным наклёпом.

Ударные методы ППД имеют свои особенности, в ряде случаев они более эффективны, чем

статические, позволяют получить большую глубину упрочненного слоя.

В ЦНИИТМАШе [6] разработаны различные приспособления и устройства для упрочнения динамическим поверхностным наклепом крупногабаритных пластинчатых и круглых деталей. Для упрочнения сварных швов и других изделий рекомендуется применение многобойковых чеканочных устройств, состоящих из пневматического молотка и многобойкового наконечника в виде пучка проволок.

Следует отметить, что ударные приспособления достаточно сложны по конструкции и громоздки. Отбойные пневматические молотки слишком тяжелы и для их работы необходим компрессор или магистраль с воздухом под давлением. Представляется целесообразным использовать для динамического наклепа ручной электрический перфоратор.

Цель настоящей работы – экспериментальное исследование процесса пластического деформирования поверхностного слоя бойком перфоратора.

Материалы, оборудование, методика

Для проведения экспериментов на образцах использован ручной электрический перфоратор ПРЭ-7. Номинальное число ударов – 4000 уд./мин, энергия удара – 3,5 Дж, номинальная скорость рабочего шпинделя – 700 об/мин. Обработка поверхности образцов проводилась зубилом пикообразным из высокоуглеродистой легированной стали и буром диаметром 10 мм с твердосплавным наконечником. В дальнейшем мы будем, для краткости, использовать термины «зубило» и «твердый сплав». В качестве экспериментального материала для образцов при проведении модельных опытов пластического деформирования поверхностного слоя была взята сталь марки 20.

Анализ микроструктуры* выполнялся с помощью металлографического микроскопа Meiji Techno с применением системы компьютерного анализа изображений Thixomet Pro. Растровый электронно-микроскопический (РЭМ) анализ осуществлялся с помощью микроскопа JSM-6490LV при ускоряющем напряжении 20 кВ в режиме вторичных электронов. Твердость измерялась методом вдавливания алмазной пирамиды в соответствии с ГОСТ 9475-60 на твердомере Buehler Micromet.

* Исследования проводились в условиях Центра коллективного пользования НИИ «Наносталей» ФГБОУ «МГТУ им. Г.И. Носова».

Результаты и их обсуждение

Перфоратор позволяет работать в режимах: удар или удар с кручением. При обработке зубилом использовались оба режима.

Измерение микротвердости выполнялось послойно, с шагом 50 мкм, схема замеров показана линиями на рис. 1.

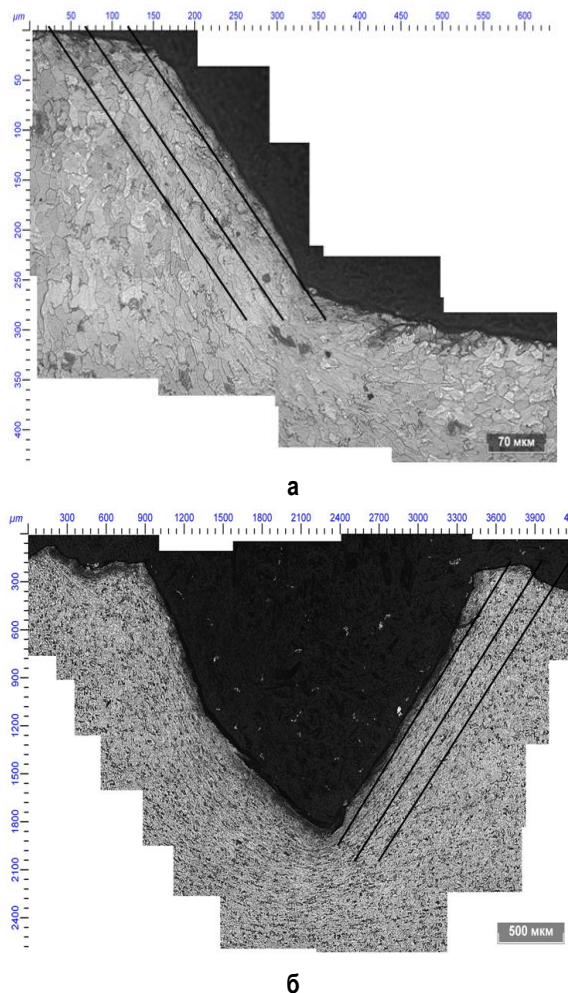


Рис. 1. Схема замера микротвердости на образцах, обработанных зубилом (а) и твердым сплавом (б)

Результаты измерения микротвердости образцов подверженных деформации удар и удар с кручением зубилом, а также удар твердым сплавом представлены на рис. 2.

При всех режимах обработки на поверхности образцов наблюдается упрочнение по отношению к основному металлу от 42 до 83 %. Протяженность упрочненного слоя составляет от 200 до 350 мкм.

Исследование микроструктуры методами оптической микроскопии показало, что во всех случаях на поверхности образуется деформированный слой (рис. 3).

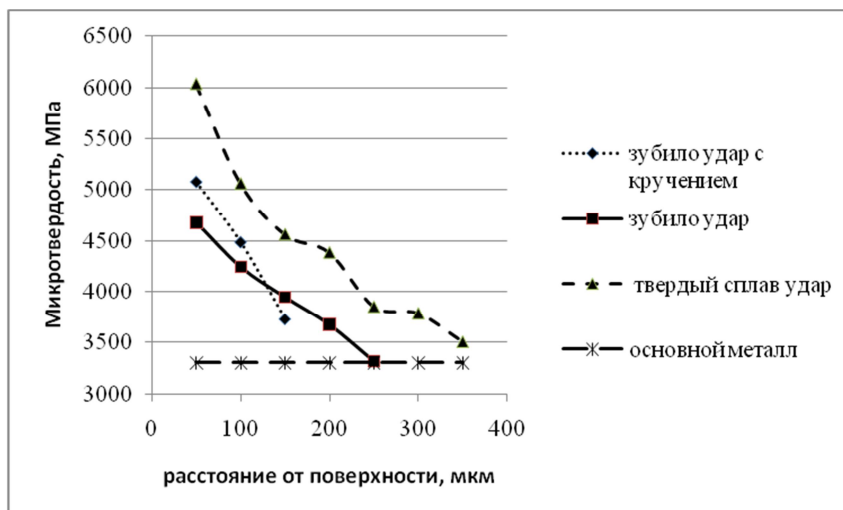
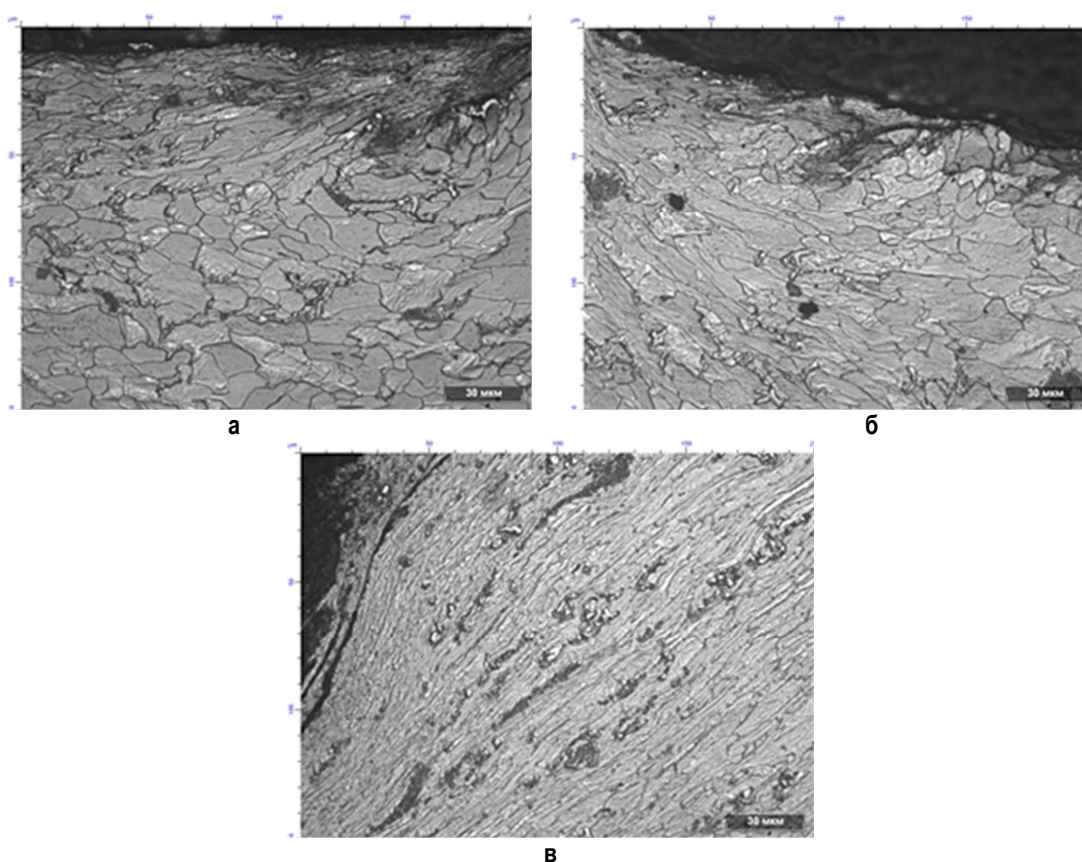


Рис. 2. Распределение микротвердости в стали марки 20, деформированной различными способами

Рис. 3. Микроструктура поверхностного слоя образца стали марки 20, деформационной: а – ударом зубилом; б – удар с кручением зубилом; в – ударом твердым сплавом, $\times 500$

РЭМ анализ показал, что во всех случаях в микроструктуре поверхностного слоя происходит формирование волокнистой структуры, состоящей из вытянутых зерен феррита, которые ориентированы перпендикулярно оси образца (рис. 4). Толщина волокна меняется от 0,13 до 0,23 мкм, что свидетельствует о большой степени деформации. Помимо образования волокнистой структуры развиваются процессы фрагмен-

тации в ней. Размер фрагментов при деформации ударом зубилом составлял от 0,3 до 1 мкм (рис. 4, а и 5, а), удар с кручением зубилом – 0,34–0,8 мкм (рис. 4, б и 5, б) и удар твердым сплавом – 0,2–0,7 мкм (рис. 4, в и 5, в).

Кроме того, происходит вытягивание перлитных участков и деформация и дробление цементитных пластин в них (рис. 6).

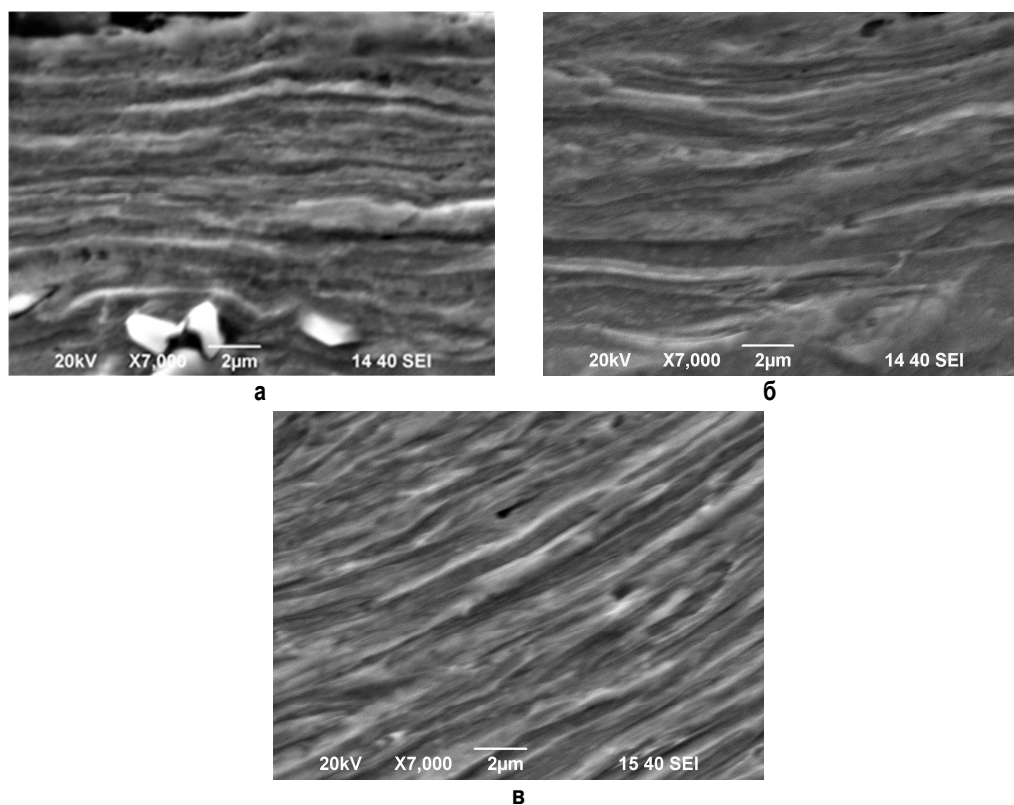


Рис. 4. Волокнистая структура поверхностного слоя образца стали марки 20, деформационной:
 а – ударом зубилом; б – удар с кручением зубилом; в – ударом твердым сплавом

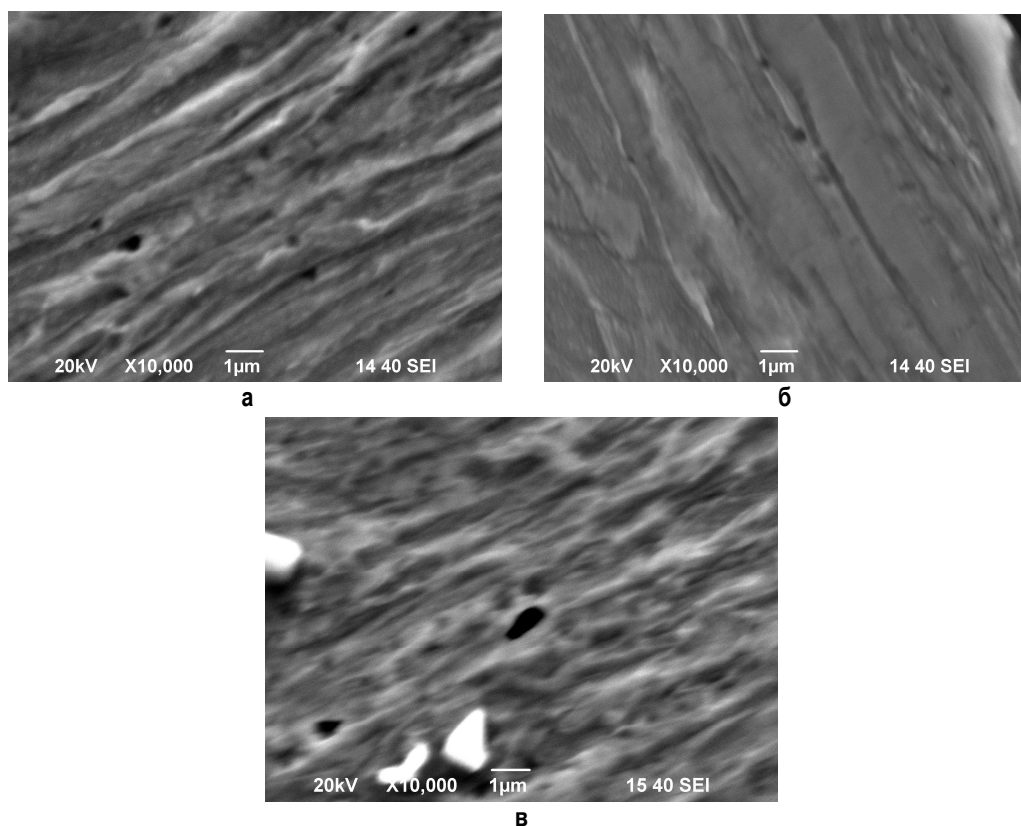


Рис. 5. Образование фрагментов в волокнистой структуре стали марки 20, деформационной:
 а – ударом зубилом; б – удар с кручением зубилом; в – ударом твердым сплавом

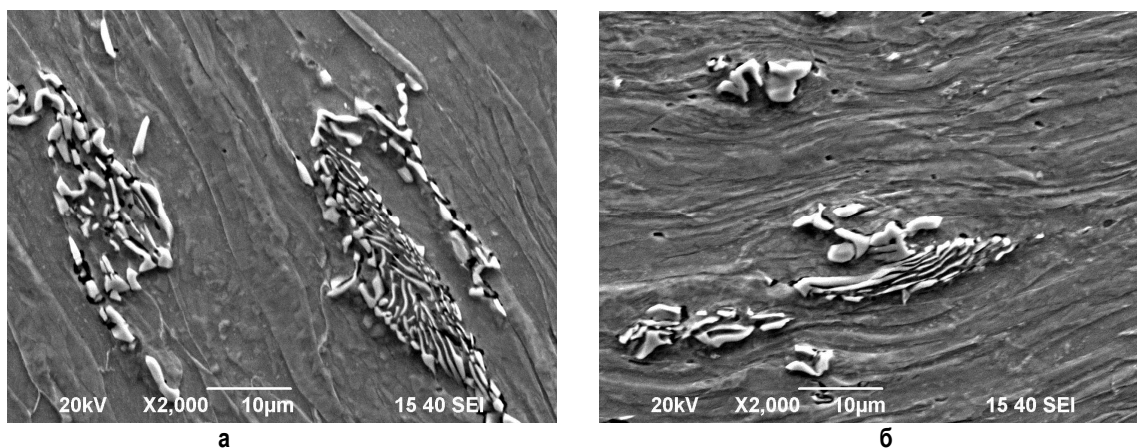


Рис. 6. Деформация перлитных участков

Выводы

Исследование показало, что при использовании перфоратора, даже с небольшой энергией удара 3,5 Дж, позволяет весьма эффективно упрочнять поверхностный слой. Максимальное упрочнение стали 20 достигало 83%, глубина упрочненного слоя – до 350 мкм.

В поверхностном слое происходит формирование волокнистой структуры с толщиной волокон от 0,13 до 0,23 мкм и развиваются процессы фрагментации.

При режиме обработки удар с кручением размер фрагментов меньше, чем при ударе, что свидетельствует о более интенсивной пластической деформации.

Наибольшее упрочнение как по уровню твердости, по глубине упрочненного слоя, так и измельчению микроструктуры достигается деформацией ударом бойка с наконечником из твердого сплава.

Упрочнение бойками может быть использовано для упрочнения галтелей, шпоночных пазов, сварных швов, наклепа с рифлением и других операций.

В заключение следует заметить, что рассмотренный вариант динамического наклепа имеет свою технологическую нишу и его прак-

тическое применение требует научно-исследовательской подготовки.

Список литературы

1. Лякишев Н.П., Алымов М.И. Наноматериалы конструкционного назначения // Российские технологии. 2006. Т. 1–2. С. 71–81.
2. Макаров А.В., Коршунов Л.Г. Прочность и износостойкость нанокристаллических структур поверхностей трения сталей с мартенситной основой // Изв. вузов. Физика. 2004. № 8. С. 65–80.
3. Чукин М.В., Корчунов А.Г., Голубчик Э.М., Полякова М.А., Гулин А.Е. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2012. № 4. С. 61–65.
4. Ударно-фрикционная комбинированная обработка гибким инструментом / Белевский Л.С., Белевская И.В., Ефимова Ю.Ю., Копцева Н.В. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2014. № 4. С. 53–57.
5. Белевский Л.С., Белевская И.В., Ефимова Ю.Ю. Фрикционная наноструктурирующая обработка металлических поверхностей и нанесение функциональных покрытий гибким инструментом // Порошковая Металлургия и Функциональные Покрытия. 2014. № 1. С. 70–76.
6. Кудрявцев И.В., Наумченков Н.Е., Савина Н.М. Усталость крупных деталей машин. М.: Машиностроение, 1981. 240 с.
7. Кургузов Ю.И., Папшев Д.Д. Технологическое обеспечение качества поверхности при упрочнении механическими щетками // Вестник машиностроения. 1986. №4. С. 54–58.
8. Перепичка Е.В. Очистно-упрочняющая обработка изделий щетками. М.: Машиностроение, 1989.

Материал поступил в редакцию 06.07.15.

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

DOI:10.18503/1995-2732-2016-14-2-63-68

STUDY OF THE PROCESS OF SURFACE COLD WORKING WITH PUNCHING BLOCKS

Belevskiy Leonid Sergeevich – D.Sc. (Eng.), Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: l.belevskiy@mail.ru.

Belevskaya Irina Valeryevna – Master Student, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: belirena@yandex.ru.

Efimova Yuliya Yuryevna – Ph.D. (Eng.), Associate Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: jefimova78@mail.ru.

Abstract. This work is an experimental study into a surface plastic deformation technique using a punching block.

Various severe plastic deformation techniques can be used for surface nanostructuring, including an impact surface plastic deformation (SPD) technique. Coining is one of the SPD techniques, which involves a tool performing a reciprocating relative motion. There are various devices used for surface cold working of large plates and round parts. They are usually complex in design and rather bulky. The use of an electric hand puncher seems to be a good option in the case of surface cold working. The rated number of impacts is 4,000 spm, the impact energy is 3.5 J, the rated speed of the spindle is 700 rpm. A spike pointed chisel made of high carbon alloy steel and a 10 mm drill bit with a hard tip were used for surface working of the templates. The puncher can be operated in two modes: impact or impact with torsion. Both modes were used when working with the chisel. The test showed that the use of a puncher even with the low impact energy of 3.5 J can be quite effective in strengthening the surface layer. Maximum hardening of steel 20 reached 83%, and the depth of the hardened layer was 350 μm . A fiber structure is created in the surface layer with a fiber thickness of 0.13 to 0.23 μm , accompanied with fragmentation processes. A surface layer with the above fragment sizes is similar to a nanostructured layer which is created through severe plastic deformation. In the impact-with-torsion mode the resulting fragment size is smaller than in the case of pure impact action, which indicates a more severe plastic deformation in the first instance. The most severe hardening in terms of actual hardness, the depth of the hardened layer and microstructural refinement are achieved through deformation with a hard tipped punching block. The deformation techniques involving punching blocks can be applied for the strengthening of astragal moldings, keyslots, welds, as

well as for cold working with corrugation and other operations. The surface cold working technique considered offers a specific technology, and its practical application would require some R&D continuation.

Keywords: Surface cold working, electric puncher, punching block, impact, cold-work strengthening, nanostructuring.

References

1. Lyakishev N.P., Alymov M.I. Structural nanomaterials. *Rossiiskie tekhnologii* [Russian technologies]. 2006, vol. 1-2, pp. 71-81.
2. Makarov A.V., Korshunov L.G. Strength and wear resistance of nanocrystalline structured friction surfaces of martensitic steels. *Izv. VUZov. Fizika* [Proceedings of Russian Universities. Physics]. 2004, no. 8, pp. 65-80.
3. Chukin M.V., Korshunov A.G., Golubchik E.M., Polyakova M.A., Gulin A.E. *Vestnik Magnitogorskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2012, no. 4, p. 61.
4. Belevskii L.S., Belevskaya I.V., Efimova Yu.Yu., Koptceva N.V. A combined impact and friction processing technique using a flexible tool. *Vestnik Magnitogorskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2014, no. 4, pp. 53-57.
5. Belevskii L.S., Belevskaya I.V., Efimova Yu.Yu. Friction nanostructuring treatment of steel surfaces and deposition of functional coatings using a flexible tool. *Poroshkovaya metallurgiya i funktsionalnye pokrytiya* [Powder metallurgy and functional coatings]. 2014, no. 1, pp. 70-76.
6. Kudryavtsev I.V., Naumchenkov N.E., Savina N.M. *Uсталост' krupnykh detaley mashin* [Fatigue of major machine parts]. Moscow: Mashinostroenie, 1981, 240 p.
7. Kurguzov Yu.I., Papshev D.D. Ensuring surface quality when surface working with wire brushes. *Vestnik mashinostroeniya* [Bulletin of Mechanical Engineering]. 1986, no. 4, pp. 54.
8. Perepichka E.V. *Ochistno-uprochnyayushchaya obrabotka izdelii shchetkami* [Cleaning and strengthening of parts with brushes]. Moscow: Mashinostroenie, 1989.

Белевский Л.С., Белевская И.В., Ефимова Ю.Ю. Исследование процесса динамического наклепа бойками // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2016. Т.14. №2. С. 63–68. doi:10.18503/1995-2732-2016-14-2-63-68

Belevskiy L.S., Belevskaya I.V., Efimova Yu.Yu. Study of the process of surface cold working with punching blocks. *Vestnik Magnitogorskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2016, vol. 14, no. 2, pp. 63–68. doi:10.18503/1995-2732-2016-14-2-63-68