

УДК 621.787.6.004

DOI: 10.30987/article_5d2635cb4d7804.69744207

А.В. Киричек¹, д.т.н.,

Д.Л. Соловьев², д.т.н.,

С.О. Федонина¹, аспирант

(¹ФГБОУ ВО «Брянский государственный технический университет»
241035, г. Брянск, бул. 50-лет Октября, 7);

(²ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет»
600000, г. Владимир, ул. Горького 87)

E-mail: avkbgtu@gmail.com;

murstin@yandex.ru

Проявление технологической наследственности при исследовании твердости деформационно-термически упрочненных сталей

Представлены результаты исследований влияния предварительного глубокого волнового деформационного упрочнения и последующей термической и химико-термической обработки на твердость сталей. Установлено наличие благоприятного технологического наследования свойств материала, сформированных на стадии волнового деформационного упрочнения. Выявлено, что комбинированное упрочнение ППД+ТО обеспечивает повышение твердости сталей на 5...20 % по сравнению с термическим упрочнением.

Ключевые слова: волна деформации; технологическая наследственность; сталь; твердость; глубина упрочнения; термическая обработка; поверхностный слой.

A.V. Kirichek¹, Dr.Sc. Tech.,

D.L. Soloviyov², Dr. Sc. Tech.,

S.O. Fedonina¹, Post graduate student

(¹FSBEI HE "Bryansk State Technical University", 7, October 50-th Anniversary Avenue, Bryansk, 241035,

²FSBEI HE "Vladimir State University", 87, Gorky Str., Vladimir, 600000)

Technological inheritance manifestation at hardness investigations of deformation-thermal strengthened steels

The investigation results of the impact of preliminary deep wave deformation strengthening and further thermal and chemical-thermal treatment for steel hardness are presented. The presence of favorable technological inheritance of material properties formed at the stage wave deformation strengthening is defined. It is revealed that SPD+TP combined strengthening ensures steel hardness increase by 5... 20% in comparison with thermal strengthening.

Keywords: deformation wave; technological inheritance; steel; hardness; strengthening depth; thermal treatment; surface layer.

Упрочняющая обработка является важной технологической операцией, ответственной за обеспечение высокой долговечности и несущей способности деталей машин. Известно достаточно большое количество технологических методов обработки, оказывающих благоприятное воздействие на изменение свойств материала несущего поверхностного слоя детали, каждый из которых имеет свои ограничения, достоинства и недостатки. Непрерывное ужесточение условий эксплуатации вызывает необходимость обеспечения такого сочетания и уровня значений параметров качества поверхностного слоя деталей машин, которое, как правило, невозможно обеспечить без применения комбинированных упрочняющих

технологий.

Наиболее эффективно применение комбинированных технологий, сочетающих воздействия на упрочняемый материал разной физической природы. В процессах комбинированного упрочнения широко применяется поверхностное пластическое деформирование (ППД), которое позволяет полностью реализовать потенциальные возможности других технологий [1, 2].

ППД – один из способов повышения упругих свойств материала, обеспечивающий совокупность высоких значений статической прочности и сопротивления усталости. В результате обработки ППД меняется энергетическое состояние атомов, многократно растет

плотность дислокаций. Только поверхностным упрочнением материала пластическим деформированием возможно получение эпюры с плавным градиентом изменения микротвердости, размытой границей упрочненной и неупрочненной зон.

Пластическая деформация служит эффективным инструментом получения слоистой анизотропной структуры, продольное или поперечное расположение волокон которой оказывает кардинальный эффект на свойства изделий. Использование пластической деформации при обработке гетерогенных материалов позволяет эффективно управлять формой, расположением, ориентацией включений в матричной фазе, изменять напряженное состояние границ раздела фаз, которые существенно влияют на эксплуатационные свойства изделий.

Упрочнение ППД имеет и другие преимущества: возможность обработки деталей любых размеров и конфигураций, технологичность, простота осуществления, возможность механизации и автоматизации процесса, возможность местного упрочнения участка детали, являющегося конструктивным концентратором напряжений. Однако подавляющая часть известных способов ППД имеет существенные ограничения по глубине упрочнения, которая, как правило, не превышает 2...3 мм. В комбинированных процессах упрочнения ППД применяется с целью повышения параметров качества поверхностного слоя до и после нанесения покрытий, после термической (ТО) или химико-термической (ХТО) обработки.

Традиционно считается, что деформационное упрочнение материала перед ТО и ХТО не имеет смысла, так как эффект деформационного упрочнения полностью уничтожается в процессе последующего термического воздействия. Однако это противоречит общему закону технологического наследования свойств. Разрешение возникающего противоречия, а также необходимость поиска новых комбинированных упрочняющих технологий с более широкими возможностями, вынуждает к проведению дополнительных исследований.

В результате проведенных экспериментальных исследований, опирающихся на ранее известные результаты [1, 2], установлена высокая эффективность технологии комбинированного упрочнения ППД с последующей цементацией. Использование ППД перед цементацией интенсифицирует диффузионные процессы и позволяет достигнуть более высоких

значений концентрации углерода в диффузионной зоне. Появляется возможность сокращения времени и энергетических затрат, связанных с процессом науглероживания. Поверхностный слой, упрочненный комбинированной обработкой ППД и цементацией, получает дополнительный ресурс несущей способности для повышения эксплуатационных характеристик детали. Для достижения наибольшего эффекта необходимо, чтобы глубина слоя, упрочненного ППД, была больше требуемой толщины цементованного поверхностного слоя, что не всегда возможно вследствие ограниченности технологических возможностей большинства известных способов ППД.

Волновое деформационное упрочнение (ВДУ) – относительно новый способ ППД, использующий для пластического деформирования ударные волны, значительно расширяет технологические возможности по формированию упрочненного поверхностного слоя [3–5]. Для упрочнения используется генератор импульсов, обеспечивающий энергию ударов до 200 Дж и частоту 7...40 Гц, основными элементами которого является боек и волновод.

При упрочнении боек ударяет по волноводу, статически поджатому к упрочняемой поверхности, в результате в ударной системе «боек – волновод» генерируются плоские акустические волны, которые характеризуются законом изменения сил (амплитудой волны деформации) во времени, максимальным значением сил, временем действия сил (длительности волны деформации) и энергией волны деформации. Эти характеристики зависят от геометрии соударяющихся бойка и волновода, свойств их материалов и скорости соударения. Период такой волны называют ударным импульсом.

Форма ударного импульса, поступающего в очаг деформации, т.е. область контакта инструмента с упрочняемым материалом, определяет эффективность динамического нагружения. Предварительное статическое поджатие волновода способствует наиболее полному использованию импульсной нагрузки для пластического деформирования упрочняемого материала. При упрочнении форма ударных импульсов максимально адаптируется к свойствам материала и условиям нагружения, что увеличивает КПД процесса, расширяет технологические возможности обработки, позволяя создавать глубокий упрочненный слой до 6...10 мм. Вследствие большой глубины упрочнения, применение ВДУ перед ХТО целесообразно и эффективно [6–10].

Исследования эффекта технологического наследования свойств материала при деформационно-термическом комбинированном упрочнении, влияния предварительного ВДУ на твердость цементованного и термически упрочненного материала проводились на сталях марок: 10ХСНД, 15ХС2Н2Г, 20ХНМ, 25Х2НМ и 30ХГСА. В ходе исследований осуществлялась цементация и последующая закалка с низким отпускком образцов подвергнутых ВДУ и без него. Режимы ВДУ выбирались отдельно для каждого материала из условия обеспечения максимального упрочнения и глубины упрочненного слоя. Режимы ХТО

были идентичны для всех испытываемых образцов каждого материала. Глубина слоя, упрочненного волной деформации, существенно (не менее чем в 2 раза) превышала глубину цементации.

Установлено, что предварительное ВДУ не только способствует увеличению глубины цементованного слоя, но и обеспечивает существенное повышение твердости нецементованного подслоя всех исследуемых сталей (рис. 1). Наибольшее увеличение твердости нецементованного подслоя получено для стали 15ХС2Н2Г – 21 %, наименьшее для стали 30ХГСА – 5 % (табл. 1).

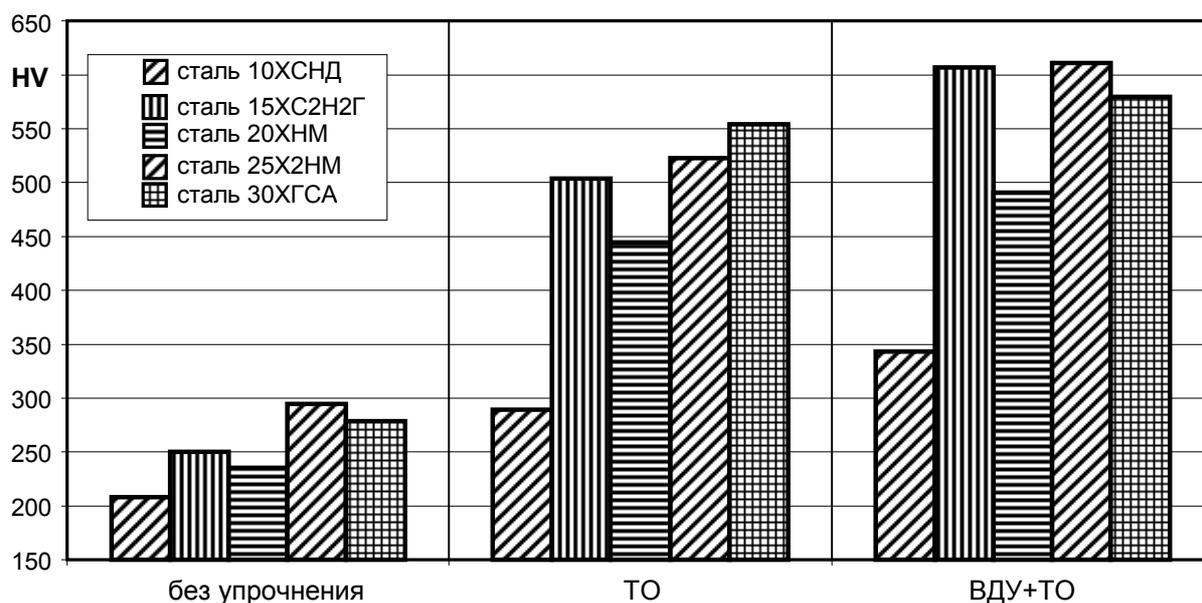


Рис. 1. Твердость сталей после различных способов упрочнения

1. Твердость цементованного подслоя

	Твердость, HV			Увеличение твердости при применении ВДУ, %
	без упрочнения	ТО	ВДУ+ТО	
сталь 10ХСНД	209	289	344	19
сталь 15ХС2Н2Г	250	504	607	21
стали 20ХНМ	235	445	490	10
сталь 25Х2НМ	295	523	611	17
сталь 30ХГСА	279	554	579	5

Полученные результаты наглядно свидетельствуют о достаточно высокой эффективности деформационного упрочнения перед цементацией и термической обработкой, расширяют сложившиеся представления о характере технологического наследования свойств материала в комбинированных процессах упрочнения. Установлена возможность повышения твердости при комбинированном упрочнении ВДУ+ТО до 20 %.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Папшев, Д.Д., Пронин, А.М., Кубышкин, А.Б. Эффективность упрочнения цементованных деталей машин // Вестник машиностроения. – 1990. – № 8. – С. 61-64.
2. Лахтин, Ю.М., Арзамасов, Б.Н. Химико-термическая обработка металлов. – М.: Металлургия, 1985. 256 с.
3. Киричек, А.В., Соловьев, Д.Л., Лазуткин, А.Г. Технология и оборудование статико-импульсной обработкой поверхностям пластическим деформированием. Биб-

лиотека технолога. – М.: Машиностроение, 2004. – 288 с.

4. Kirichek A.V., Soloviev D.L. and Altuhov A.Yu. Deformation Wave Hardening of Metallic Materials // Journal of Nano and Electronic Physics, Vol. 6, No 3, 03069 (4pp) 2014.

5. Kirichek A.V., Soloviev D.L. and Silant'ev S.A. Effect of the structure heterogeneously hardened by impact deformation waves upon impact strength of the material // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 124 (2016) 012157 (5 pp).

6. Эффективные технологии поверхностного пластического деформирования и комбинированной обработки. / В.Н. Беляев, В.П. Иванов, А.Р. Ингеманссон, А.Н. Исаев, А.В. Киричек и др. – М.: Изд. дом «Спектр», 2014. – 403 с.

7. Киричек, А.В., Соловьев, Д.Л., Тарасов, Д.Е. Упрочнение железоуглеродистых сплавов комбинированной обработкой волной деформации и цементацией // Упрочняющие технологии и покрытия. – 2013. – № 12. – С. 36-39.

8. Киричек, А.В., Соловьев, Д.Л., Тарасов, Д.Е. Повышение долговечности деталей машин комбинированной упрочняющей обработкой. // Вестник Брянского государственного технического университета. 2016. № 2 (50). С. 52-58.

9. Киричек, А.В., Соловьев, Д.Л., Силантьев, С.А. Технология комбинированного упрочнения волной деформации и цементацией конструкционных низколегированных сталей // Научно-технические технологии в машиностроении. – № 8(74). – 2017. – С. 30-35.

10. Киричек, А.В., Соловьев, Д.Л., Хандожко, А.В., Федонина, С.О. Технологическое обеспечение параметров несущего слоя деформационным и комбинированным упрочнением // Научно-технические технологии в машиностроении. – 2018. – № 10(88). – С. 43-48.

REFERENCES

1. Papshev, D.D., Pronin, A.M., Kubyshkin, A.B. Effectiveness of carbonized machinery strengthening // *Bulletin of Mechanical Engineering*. – 1990. – No.8. – pp. 61-64.

2. Lakhtin, Yu.M., Arzamasov, B.N. *Chemical and Thermal Treatment of Metals*. – М.: Metallurgy, 1985. pp. 256.

3. Kirichek, A.V., Soloviyov, D.L., Lazutkin, A.G. Technology and equipment of static-pulse processing with surface plastic deformation. *Technologist's Library*. – М.: Mechanical Engineering, 2004. – pp. 288.

4. Kirichek A.V., Soloviev D.L. and Altuhov A.Yu. Deformation Wave Hardening of Metallic Materials // Journal of Nano and Electronic Physics, Vol. 6, No 3, 03069 (4pp) 2014.

5. Kirichek A.V., Soloviev D.L. and Silant'ev S.A. Effect of the structure heterogeneously hardened by impact deformation waves upon impact strength of the material // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 124 (2016) 012157 (5 pp).

6. *Efficient Technologies of Surface Plastic Deformation and Combined Processing* / V.N. Belyaev, V.P. Ivanov, A.R. Ingemansson, A.N. Isaev, A.V. Kirichek et al. – М.: "Spectrum" Publishers, 2014. – pp. 403.

7. Kirichek, A.V., Soloviyov, D.L., Tarasov, D.E. Iron-carbon alloy strengthening with combined processing by deformation wave and carbonization // *Strengthening Technologies and Coatings*. – 2013. – No.12. – pp. 36-39.

8. Kirichek, A.V., Soloviyov, D.L., Tarasov, D.E. Machinery life increase by combined strengthening processing // *Bulletin of Bryansk State Technical University*. 2016. No.2 (50). pp. 52-58.

9. Kirichek, A.V., Soloviyov, D.L., Solantiev, S.A. Technology of combined strengthening with wave carbonization of structural low-alloy steels // *Science Intensive in Mechanical Engineering*. – No.8 (74). – 2017. – pp. 30-35.

10. Kirichek, A.V., Soloviyov, D.L., Khandozhko, A.V., Fedonina, S.O. Technological support of bearing layer with deformation and combined strengthening // *Science Intensive Technologies in Mechanical Engineering*. – 2018. – No.10 (88). – pp. 43-48.

Рецензент д.т.н. Е.С. Киселёв

УДК 621.9

DOI: 10.30987/article_5d2635cb62fb56.07245294

Д.И. Петрешин, д.т.н., А.Г. Суслов, д.т.н., О.Н. Федонин, д.т.н., В.А. Хандожко, к.т.н.
(Брянский государственный технический университет,
241035, г. Брянск, бульвар 50 лет Октября, 7)
E-mail: dipetreshin@yandex.ru

Автоматизация управления параметрами качества поверхностного слоя и эксплуатационными свойствами деталей машин при обработке резанием

Рассмотрен вопрос автоматизации управления параметрами качества поверхностного слоя и эксплуатационными свойствами деталей машин при обработке резанием. Для этого используются соответствующие автоматизированные системы управления. Приводится обоснование построения систем управления параметрами качества поверхностного слоя и эксплуатационными свойствами деталей машин. Описан алгоритм работы систем, приводятся математические модели.

Ключевые слова: система управления; качество поверхностного слоя; эксплуатационные свойства.