

УДК.621.91

Изменение твердости поверхности детали методом механической обработки

С.Г. Васильев, Я.И. Шуляк

Описан способ получения упрочненной макроструктуры на поверхностях металлических деталей методом деформирующего резания. Упрочнение материала рассматривается как следствие его пластической деформации в процессе механической обработки. Приведены результаты экспериментальных исследований, доказывающие повышение микротвердости материала в результате обработки.

Ключевые слова: твердость, упрочнение, микротвердость, пластическое деформирование, обработка резанием, деформирующее резание, износ, стружкообразование, механическая обработка.

The article is devoted to the way of obtaining hardened macrostructure on metal parts using deformational cutting method. Hardening of the material is considered as a consequence of its plastic deformation during machining. Experimental results demonstrating the increase of the micro-hardness of the material as a result of processing are adduced.

Keywords: hardness, hardening, microhardness, plastic deformation, chipping, deformational cutting, wear, machining.

В машиностроении широко используют различные способы поверхностного пластического деформирования для повышения усталостной прочности, твердости поверхностного слоя металла, снижения шероховатости, а также для создания внутренних напряжений сжатия в поверхностном слое заготовки [1, 2]. Во многих случаях для увеличения эксплуатационных характеристик деталей машин эффективно использовать процесс упрочняющей деформационной обработки особенно на финишных операциях технологического процесса изготовления деталей [3].

В статье рассматривается способ поверхностного упрочнения деталей с помощью специальной операции механической обработки, сочетающей в себе резание и пластическую деформацию поверхностных слоев стальной заготовки. Идея создания и получения упрочненных слоев механической обработкой на наружной поверхности заготовки была представлена в патенте РФ [4]. Метод механической обработки, позволяющий создавать на поверхности детали макрорельеф различной формы, в том числе макрорельеф с повышенной твердостью называют деформирующее резание [5]. Этот метод разработан в МГТУ им Н.Э. Баумана. Данный метод — разновидность лезвийной обработки и отличается от известных способов механической обработки использованием специального режущего инструмента. Метод основан



ВАСИЛЬЕВ
Сергей Геннадьевич
доцент



ШУЛЯК
Ян Игоревич
аспирант кафедры
«Инструментальная
техника и технологии»
(МГТУ им. Н.Э. Баумана)

на последовательном подрезании и деформации слоев материала заготовки. При этом подрезанные слои не отделяются от поверхности заготовки в виде стружки, а остаются на поверхности заготовки. В результате образуется регулярный макрорельеф в виде чередующихся вертикальных или наклонных слоев [5, 6]. Операция обработки деталей деформирующим резанием осуществляется по общепринятым схемам точения, строгания и фрезерования. Инструмент деформирующего резания представляет собой режущий клин со вспомогательной кромкой, имеющий большие отрицательные передние углы.

Основная область применения метода деформирующего резания — изготовление теплообменных поверхностей и фильтрующих элементов.

Одним из способов использования деформирующего резания является создание на поверхности заготовки макрорельефа повышенной твердостью. Сущность процесса создания макрорельефа повышенной твердости заключается в том, что подрезанный слой металла претерпевает значительную пластическую деформацию, что и приводит к его упрочнению и повышению твердости. Основная деформация подрезаемого слоя материала проходит в условной плоскости сдвига процесса и при переходе материала через деформирующую кромку. Известно, что деформация материала приводит к искажению его кристаллической решетки и возникновению дислокаций [2]. Согласно теории упрочнения выдвинутой И.А. Одингом, изменение кристаллической решетки влечет изменение размеров возникших искажений кристаллической решетки в определенном объеме, что в целом увеличивает плотность дислокаций и соответственно приводит к увеличению прочностных свойств материалов.

Таким образом, при деформирующем резании подрезанный слой материала заготовки перемещается по передней поверхности режущего инструмента, огибает вспомогательную кромку инструмента, поворачивается в основании, при этом каждый раз получает определенную степень деформации от контактных процессов, проходящих в зонах режущего инстру-

мента. На рис. 1 схематично показан процесс формирования макроструктуры при обработке по схеме точения [5]. Форма профиля образующихся ребер определяется формой заточки инструмента.

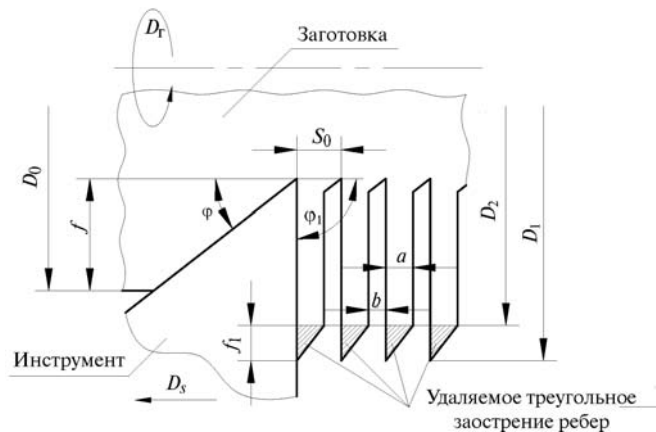


Рис. 1. Формирование макрорельефа с вертикальными ребрами

Варьируя значениями главного угла в плане ϕ и вспомогательного угла в плане ϕ_1 режущего инструмента, можно добиться получения ребер перпендикулярных основанию (см. рис. 1), или расположенных под углом к основанию (рис. 2 и 3). В случае получения наклонных ребер за счет регулирования соотношения между значениями углов ϕ и ϕ_1 можно получать ребра с зазорами (рис. 2) или плотно сжатые между собой ребра без зазоров (рис. 3). На рис. 4 представлены поперечные срезы макроструктуры на примере стали 30ХГСА с вертикальным и

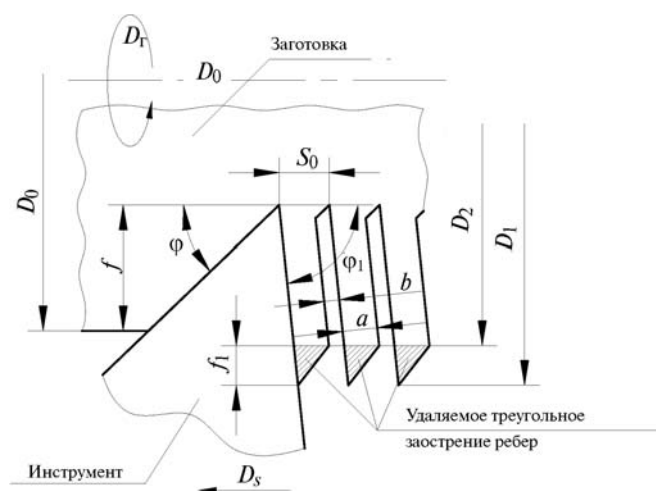


Рис. 2. Формирование микрорельефа с наклонными ребрами

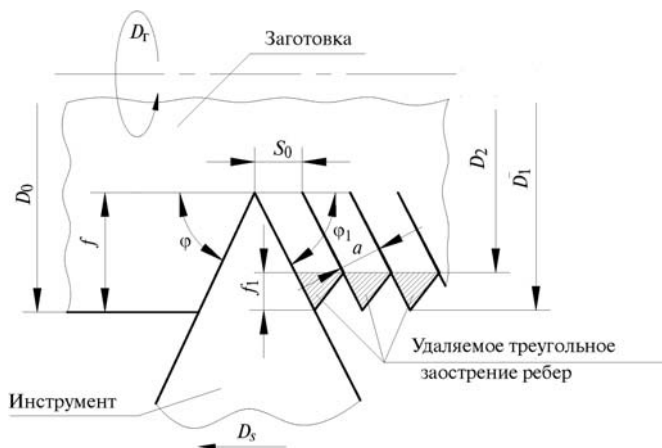


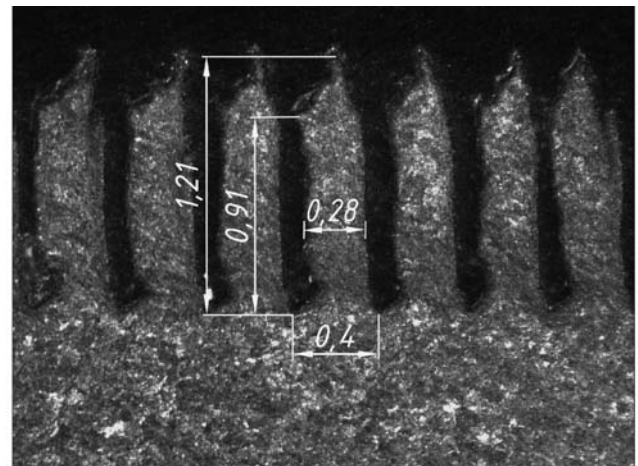
Рис. 3. Формирование макрорельефа с наклонными ребрами без зазоров

наклонным расположением ребер, размеры указаны в миллиметрах.

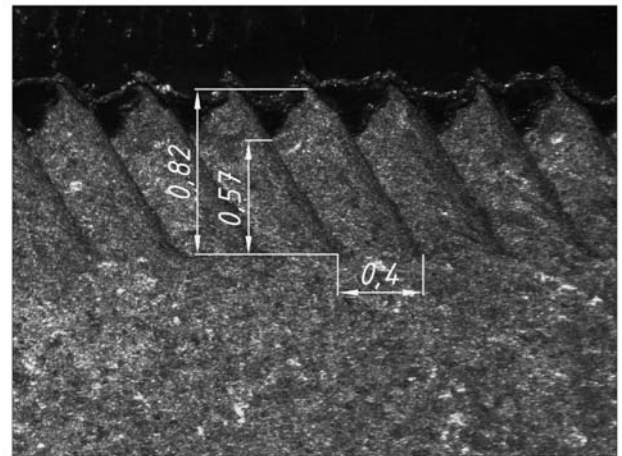
В случае превышения значения главного угла в плане ϕ над вспомогательным углом ϕ_1 происходит дополнительное пластическое деформирование подрезанных слоев за счет выглаживания боковой поверхности ребра деформирующей кромкой. Заострения на вершинах ребер, равные величине t_1 , при необходимости удаляются лезвийной или абразивной обработкой.

Возможность формирования макрорельефа на стальных деталях методом деформирующего резания ограничена исходной твердостью и параметрами пластичности материала. Так относительное удлинение δ обрабатываемой стали должно быть не менее 18 %, а твердость материала не должна превышать 220 НВ [6].

В процессе обработки деформирующим резанием материал подрезанного слоя подвергается тем же физико-механическим воздействиям, что и материал стружки при традиционной лезвийной обработке. Процессы, происходящие в зоне резания при образовании стружки, описывались многими исследователями [8, 9]. Установлено, что материал, превращающийся в стружку, в значительной степени пластически деформируется и, как следствие, упрочняется. На рис. 5 представлены контуры пластической области в зоне резания при образовании сливной стружки [8]. Область пластической деформации разделяется на область основных сдвиговых деформаций, обозначенную контуром



а



б

Рис. 4. Макроструктура, полученная методом деформирующего резания на стали 30ХГСА: а — вертикальным расположением; б — наклонным расположением

ODEF, и область контактных пластических деформаций — контур *ОНС*. Материал, проходящий через область *ODEF*, деформируется, и при этом зерна материала искажаются примерно одинаково по всей толщине стружки. Отмечено, что материал подрезанного слоя вблизи передней поверхности инструмента в зоне *ОНС* деформируется значительно, чем в зоне *ODEF* в результате действия сил трения и контактного давления. Величина деформации по толщине слоя a_2 распределена неравномерно и тем больше, чем ближе слой материала к передней поверхности режущего инструмента. Толщина слоя a_2 зависит от множества факторов и изменяется в больших пределах. При определенных условиях деформация вблизи передней поверх-

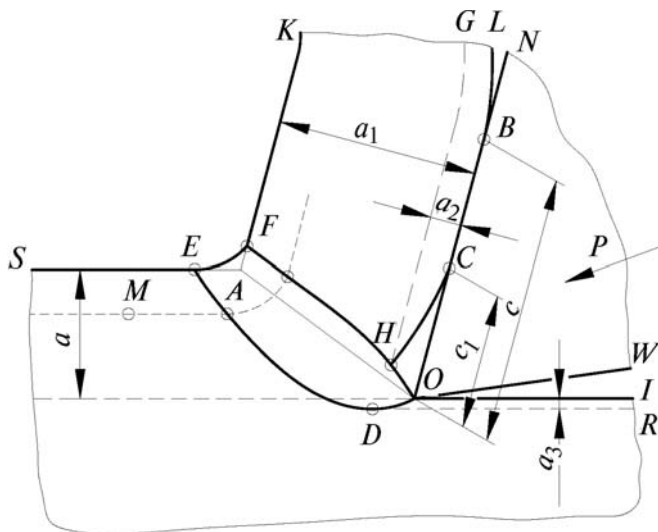


Рис. 5. Контуры пластической области в зоне резания при образовании сливной стружки [8]

ности мало отличаются от деформации по всей толщине стружки, и в этом случае слой a_2 на металлографических снимках незаметен.

В случае деформирующего резания предполагается наличие трех основных зон пластической деформации: в области главной режущей кромки — зона I; вспомогательной режущей кромки — зона 2; в области основания ребра — зона 3 (рис. 6). При формировании наклонных ребер без зазоров образующееся ребро дополнительно сдавливается между вспомогательной кромкой инструмента и соседним витком ребра, что приводит к дополнительному увеличению твердости материала ребер по отношению к ребрам, полученным с зазором. Суммарное влияние зон пластической деформации на формируемое ребро приводит к искажению кристаллической решетки материала ребра, уве-

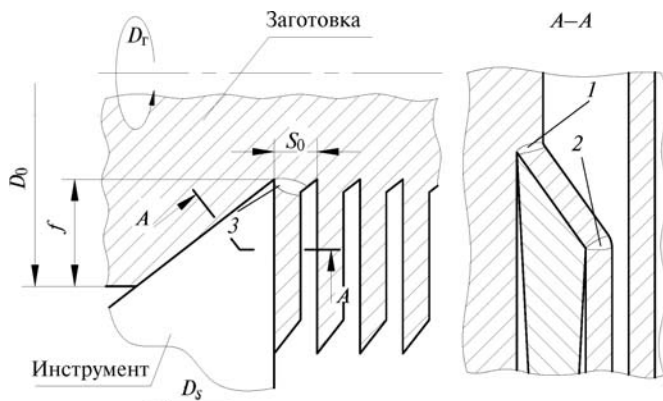


Рис. 6. Зоны пластической деформации при деформирующем резании [5]

личению плотности дислокаций материала ребра, что в целом обеспечивает к увеличению твердости ребра по всей его высоте и толщине.

Таким образом, возможность получения регулярной упрочненной макроструктуры материала на поверхности обрабатываемой заготовки позволяет рассматривать деформирующее резание как способ поверхностного упрочнения. При этом толщина упрочненного слоя будет равна высоте профиля макроструктуры и зависеть от глубины деформирующего резания.

Для подтверждения возможности получения упрочненного слоя на сталях марки 30ХГСА и 38Х2МЮА был создан регулярный макрорельеф в форме вертикальных ребер с зазорами и наклонных ребер без зазоров. Степень упрочнения оценивали путем исследования распределения микротвердости материала ребра в осевом сечении заготовки. Измерения проводили по трем рядам точек, ориентированным параллельно боковым сторонам ребер как вертикальных, так и наклонных. Точки в каждом ряду располагали на равном расстоянии друг от друга с шагом 100 мкм. На рис. 7 показано расположение рядов точек измерения микротвердости по трем зонам: I — зона прирезцовая, II — зона центральная и III — зона свободная. Прирезцовая зона прилегает к боковой стороне

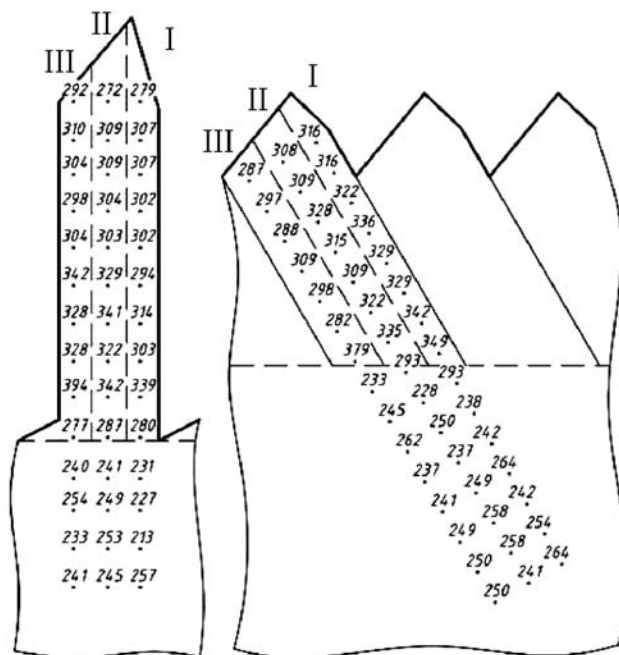


Рис. 7. Схема распределения микротвердости по сечению ребра на примере стали марки 30ХГСА

ребра, непосредственно контактирующей с передней поверхностью режущего инструмента. Центральная зона содержит ряд точек, расположенный примерно на равном расстоянии от боковых сторон ребра. Свободная зона прилегает к боковой стороне ребра, не контактирующей с передней поверхностью инструмента при образовании ребра. Формирование макроструктуры выполнялось на токарно-винторезном станке модели 16К20 при глубине резания равной $t = 0,75$ мм, подачи $S_0 = 0,4$ мм/об, скорости резания $V = 0,73$ м/с для образцов из стали 30ХГСА и скорости резания равной $V = 0,77$ м/с для образцов из стали 38Х2МЮА.

На рис. 7 представлен пример схемы измерения микротвердости на поверхности вертикального и наклонного ребра из стали марки 30ХГСА. Вершина ребра имеет меньшие значения микротвердости (272–292 $HV_{0,1}$), чем средняя часть ребра (302–310 $HV_{0,1}$). Ближе к основанию ребра наблюдается повышение микротвердости до значений 342–394 $HV_{0,1}$, в результате пластических деформаций основания ребра. На границе ребра с основным материалом имеется переходная зона с твердостью 277–287 $HV_{0,1}$. Ниже границы ребра упрочнения материала не наблюдалось. Исходная микротвердость основного материала стали 30ХГСА в среднем составляла 239 $HV_{0,1}$.

Результаты измерения микротвердости по высоте ребра в трех зонах измерения представлены на рис. 8 и 9. Порядковый номер точки замера микротвердости начинался с вершины ребра. Измерение микротвердости проводилось по методу восстановленного отпечатка четырехгранной пирамиды с квадратным основанием на микротвердомере марки ПМТ-3 при нагрузке 0,981 Н.

По результатам анализа распределения микротвердости в основных зонах ребра для стали 30ХГСА было установлено, что микротвердость материала прирезцовой зоны плотно сжатых ребер выше микротвердости материала ребер с зазорами. Так, микротвердость материала вертикальных ребер с зазорами составила 300–310 $HV_{0,1}$, микротвердость материала плотно сжатых ребер на тех же участках — 320–330 $HV_{0,1}$. Среднее значение увеличения микротвердости для этой

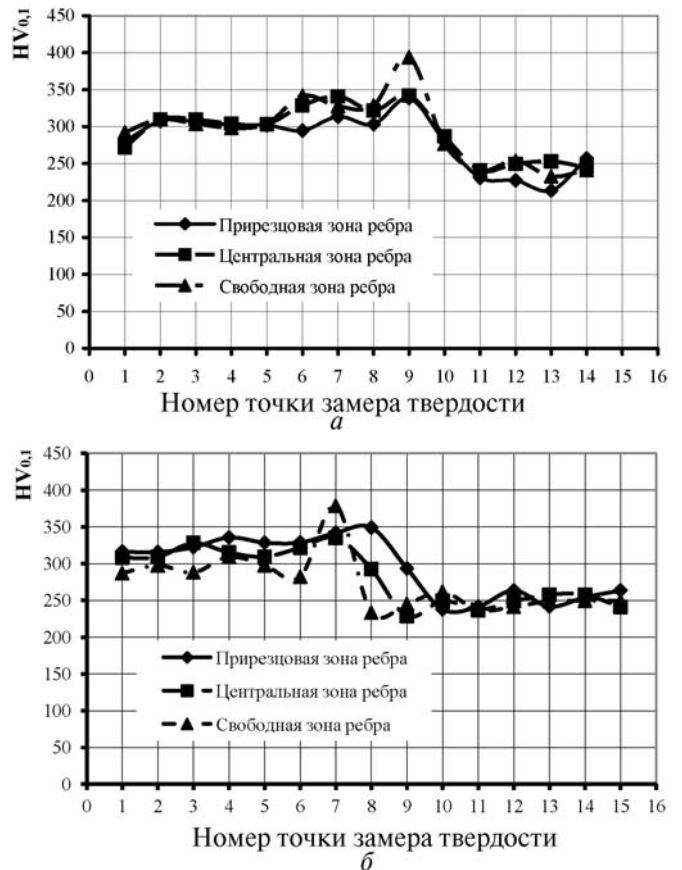


Рис. 8. Диаграммы распределения микротвердости для образцов из стали 30ХГСА: а — распределение микротвердости для вертикальных ребер с зазорами; б — распределение микротвердости для наклонных ребер без зазоров

стали составило 27...32% по отношению к микротвердости основного материала.

Аналогичная закономерность распределения микротвердости по трем зонам измерения наблюдалась на образцах из стали 38Х2МЮА (рис. 8). Микротвердость материала вертикальных ребер прирезцовой зоны в среднем составила 330–370 $HV_{0,1}$, плотно сжатых наклонных ребер прирезцовой зоны в среднем составила 300–400 $HV_{0,1}$.

В результате анализа экспериментальных данных установлено, что при формировании упрочненных макроструктур с наклонными ребрами на образцах из стали 38Х2МЮА происходит увеличение микротвердости макроструктуры в среднем на 30...35% по отношению к основному материалу заготовки. При этом распределение микротвердости по высоте ребра можно считать равномерным.

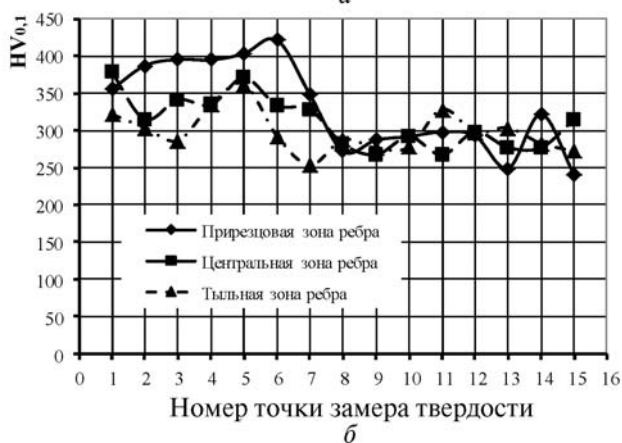
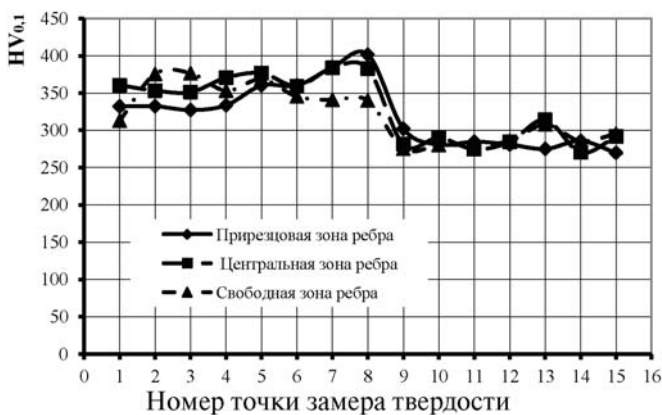


Рис. 9. Диаграммы распределения микротвердости для образцов из стали 38Х2МЮА:
 а — распределение микротвердости для вертикальных ребер с зазорами; б — распределение микротвердости для наклонных ребер без зазоров

Экспериментальные исследования показали возможность увеличения твердости поверхности стальной детали методом деформирующего резания. Среднее увеличение микротвердости по отношению к основному материалу составило 33%.

Преимущество данного способа упрочнения состоит в возможности равномерного распределения микротвердости по высоте макрорельефа, что позволит сохранить стабильность эксплуатационных характеристик поверхности в течение эксплуатации, использования стандартного металлорежущего оборудования, ма-

лых радиальных сил, действующих на заготовку во время формирования упрочненного слоя. Создание упрочненного слоя методом деформирующего резания может быть целесообразно для повышения износостойкости деталей подшипников скольжения, сопряженных поверхностей в соединениях с натягом, валов и осей, которые нельзя упрочнять другими методами. Важное значение имеет эффект упрочнения при использовании метода деформирующего резания для восстановления изношенных поверхностей деталей.

Литература

1. Повышение несущей способности деталей машин поверхностным упрочнением/Л.А. Хворостухин, С.В. Шишкин, А.П. Ковалев, Р.А. и др. М.: Машиностроение 1988. 144 с.
2. Одинцов Л.Г. Упрочнение и отделка деталей поверхностным пластическим деформированием: Справочник. М.: Машиностроение, 1987. 328 с.
3. Каледин Б.А., Чена П.А. Повышение долговечности деталей поверхностным деформированием. Минск: Наука и техника, 1974. 231 с.
4. Зубков Н.Н., Овчинников А.И. Патент 2044606 РФ. Способ получения поверхностей с чередующимися выступами и впадинами и инструмент для его реализации. Опубл.13.06.94 г. Бюл. № 27, 1994.
5. Зубков Н.Н. Разработка и исследование метода деформирующего резания как способа формообразования развитых макрорельефов: Дис. ... д-ра. техн. наук. М., 2001. 478 с.
6. Зубков Н.Н., Овчинников А.И., Васильев С.Г., Кононов О.В. Основы метода деформирующего резания: Методические указания. М: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005. 28 с.
7. Зубков Н.Н. Ремонт, восстановление и модернизация на основе метода деформирующего резания // Ремонт, восстановление, модернизация. 2003. № 10. С. 7–11.
8. Полетика М.Ф. Контактные нагрузки на режущих поверхностях инструмента. М.: Машиностроение, 1969. 149 с.
9. Лоладзе Т.Н. Прочность и износостойкость режущего инструмента. М.: Машиностроение, 1982. 320 с.

Статья поступила в редакцию 10.11.2011 г.