

Технология и технологические машины

УДК.621.91

Повышение твердости поверхности детали термическим воздействием методом деформирующего резания

С.Г. Васильев, В.В. Попцов

Рассмотрен метод поверхностного упрочнения детали методом механической обработки — деформирующим резанием. Показана возможность создания упрочненного макрорельефа на поверхности стальной детали. Метод упрочнения реализован за счет высоких температур, созданных в зоне деформирующего резания, с образованием закалочных зон.

Ключевые слова: поверхностное упрочнение, твердость, износ, термическая обработка, закалочные температуры, фазовые (структурные) превращения, процесс деформирующего резания, безотходный метод, аустенитно-мартенситный слой, нетравящийся слой.

The article considers a method of a workpiece surface hardening by machining using a macro-deformation process. The opportunity to create a hardened macrorelief on the surface of a steel workpiece is shown. The method of hardening is realized due to high temperatures created in the macro-deformation process zone along with formation of quenching structures.

Keywords: surface hardening, hardness, wear, heat treatment, quench temperature, phase (structural) transformations, macro-deformation process, austenitic-martensitic layer, unetched layer.

Большинство деталей машин и механизмов работают в условиях интенсивного изнашивания, циклических нагрузок, вибраций, высоких и низких температур. В таких условиях работы возни-



ВАСИЛЬЕВ
Сергей Геннадьевич
доцент



ПОПЦОВ
Виктор Викторович
аспирант кафедры
«Инструментальная
техника и технологии»
(МГТУ им. Н.Э. Баумана)

кают значительные контактные напряжения в поверхностном слое детали, что определяет повышенные эксплуатационные требования к наружной поверхности детали. В большинстве случаев деталь для восприятия ударных и других нагрузок должна иметь пластичную сердцевину с одновременно твердой и упрочненной ее наружной поверхностью.

Известно много способов поверхностного упрочнения, таких как термическая обработка, химико-термическая обработка, газотермическое напыление, наплавка металла, деформация поверхностного слоя механическим способом и многие другие. Как правило, любая технология поверхностного упрочнения имеет достоинства и недостатки, которые выражены в привлечении значительных энергозатрат, использовании специального оборудования, приспособлений, инструмента, а также в контроле промышленных отходов согласно нормам экологической безопасности.

Некоторые способы упрочнения деталей машин применяют чаще других, например, объемную термическую обработку и поверхностную закалку с использованием в качестве источника нагрева токи высокой частоты.

В общем случае при рассмотрении варианта термического упрочнения поверхности детали стоит задача выбора способа нагрева всего объема детали или ее поверхности для получения требуемых структурных и фазовых превращений.

Существует большое количество способов нагрева стальных деталей для проведения термической обработки под закалку. К таким способам нагрева можно отнести нагрев в соляных ваннах, использование токов высокой частоты, нагрев газопламенными методами, в пламенных печах, контактным электронагревом и др.

В статье предлагается рассмотреть способ повышения твердости поверхности стальной детали путем создания на ней регулярного макрорельефа увеличенной твердости в виде наклонных слоев металла, нагретых до температур фазовых превращений с последующим их

охлаждением. Регулярный макрорельеф создается механическим методом деформирующего резания (ДР). Этот метод разработан в МГТУ им. Н.Э. Баумана [1, 2]. Идея создания макрорельефа на наружной поверхности детали для формирования макроструктур повышенной твердости изложена в патенте РФ № 2044606.

Сущность метода ДР заключается в последовательном подрезании и отгибке поверхностных слоев материала детали (рис. 1) [2]. При деформирующем резании подрезанный слой полностью не отделяется от заготовки и в виде ребра остается на ней. Наличие жесткой связи подрезанного слоя с основой заготовки позволяет целенаправленно производить его пластическую деформацию рабочими поверхностями режущего инструмента. По сути, образующиеся ребра — это неотделившаяся от заготовки стружка [2]. Метод ДР реализуется инструментом типа проходного резца на стандартном металлорежущем оборудовании. Поскольку стружка не образуется, метод является безотходным. В результате на поверхности заготовки получается регулярная структура с вертикальными или наклонными слоями.

Вертикальная или наклонная структура получается в зависимости от геометрических параметров режущего инструмента ДР. Наклонная структура может получаться с зазорами, без

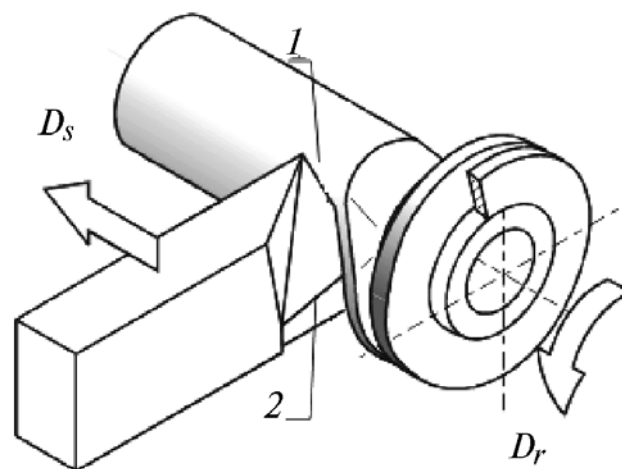
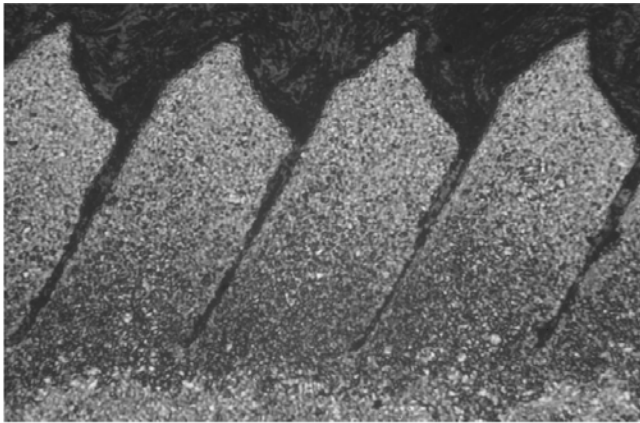
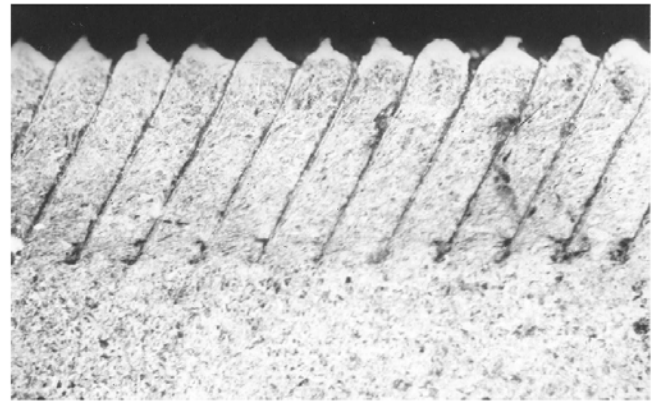


Рис. 1. Обработка методом деформирующего резания [2]:

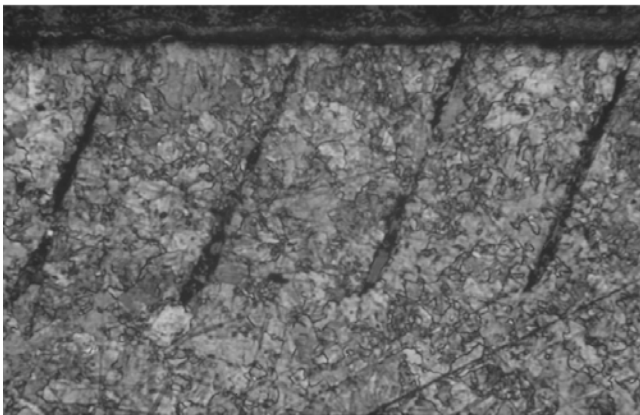
1 — заготовка; 2 — инструмент



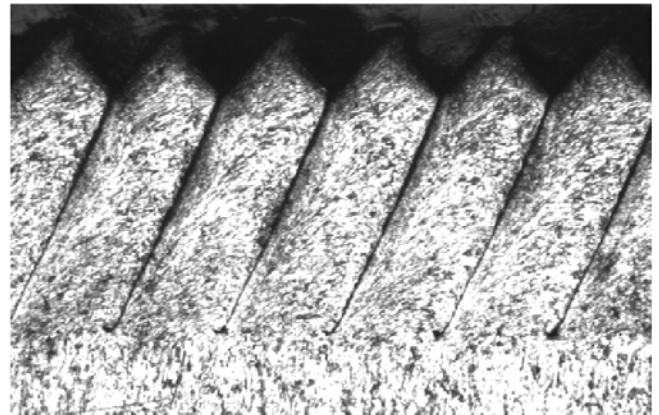
a



б



в



г

Рис. 2. Варианты поперечных срезов оребренных структур на сталях:

a — сталь 16X3HBFMBШ; *б* — сталь 20X13; *в* — сталь 40X; *г* — сталь 40X

зазоров с плотно прижатыми друг к другу ребрами. На рис. 2 представлены варианты поперечных срезов оребренной структуры на сталях с различными геометрическими параметрами, полученными методом ДР.

Вариант поперечного среза, изображенный на рис. 2, *в*, демонстрирует возможность получения оребренной структуры с плоскими вершинами ребер, удаленными механическим способом на операции точения или шлифования.

Метод ДР имеет ограничения по формированию макрорельефа на сталях, так коэффициент относительного удлинения δ для стали должен быть не менее 15...18% и твердостью не более 240 НВ.

Идея повышения твердости наружной поверхности стальной заготовки путем нагрева ее

поверхностных слоев и создания закалочных зон заключается в следующем. В процессе ДР инструмент в виде проходного резца подрезает и отгибает слои металла. Скорость резания, деформация подрезанного слоя, а также трение подрезанного слоя металла о рабочие поверхности режущего инструмента приводят к нагреву слоев металла до высоких температур и фазовым превращениям. Эти процессы обеспечивают частичную закалку подрезанных слоев металла. Степень нагрева подрезаемого слоя можно регулировать за счет режимов резания, геометрии инструмента, свойств обрабатываемого и инструментального материалов.

Таким образом, существует возможность использования тепловыделения зоны резания для нагрева формируемой регулярной макрострук-

туры с доведением уровня нагрева подрезаемых слоев металла до закалочных температур. Охлаждение макрорельефа происходит на воздухе за счет перераспределения температуры ребра в основной материал стальной заготовки и в окружающую среду от вращения заготовки.

Для подтверждения возможности нагрева формируемого макрорельефа методом ДР до температур, близких к закалочным, были изготовлены образцы с регулярным макрорельефом на сталях марок 38Х2МЮА, 30ХГСА, 40Х, ШХ15. Исследования шлифов полученных макроструктур показали, что прирезцовая поверхность ребра имеет нетравящийся белый слой небольшой толщины. Из литературных источников [3] известен факт изменения микроструктуры стружки, сходящей с передней поверхности режущего инструмента при высоких скоростях резания, которая нагревалась до закалочных температур с появлением на ней белого слоя с прирезцовой стороны стружки. Исследования белых слоев на прирезцовой стороне стружки, полученной на операции точения, показали наличие аустенитно-мартенситных структур в поверхностных слоях [3]. Данный факт подтверждает то, что материал стружки нагрелся до такой степени, что начались фазовые превращения с образованием закалочных зон. Аналогично процессу нагрева сходящей стружки на операции точения, при ДР подрезанный слой металла также может нагреваться до температур, достаточных для получения закалочных зон в металле подрезаемого



Рис. 3. Макрорельеф с наклонной структурой без зазоров:

1 — зона ребра с повышенной твердостью; 2 — зона ребра без структурных превращений

слоя формируемой макроструктуры. На рис. 3 схематично представлен макрорельеф, созданный методом ДР в виде наклонной структуры. Прирезцовая зона металла ребра 1 имеет наибольший нагрев по отношению к противоположной зоне 2 металла ребра.

К факторам, отвечающим за степень нагрева металла подрезанного слоя, в большей степени можно отнести скорость резания и малые значения задних углов режущего инструмента. Влияние химического состава стали рассматривается в зависимости от количества легирующих элементов, способных стабилизировать и сохранить аустенитную фазу [5]. Возможен выбор сталей, у которых низкие значения критических температур фазовых превращений.

Для подтверждения возможности получения закалочных зон на наружной поверхности стальных заготовок были проведены лабораторные исследования по созданию регулярной макроструктуры на конструкционных сталях марок 38Х2МЮА, ШХ15, 40Х. Эксперименты проводились на универсальном токарно-винторезном станке модели 16К20.

Схема формирования регулярной макроструктуры представлена на рис. 4. Эксперименты проводились в диапазоне скоростей резания 1,5...3,5 м/с. Формирование регулярной макроструктуры на заготовке

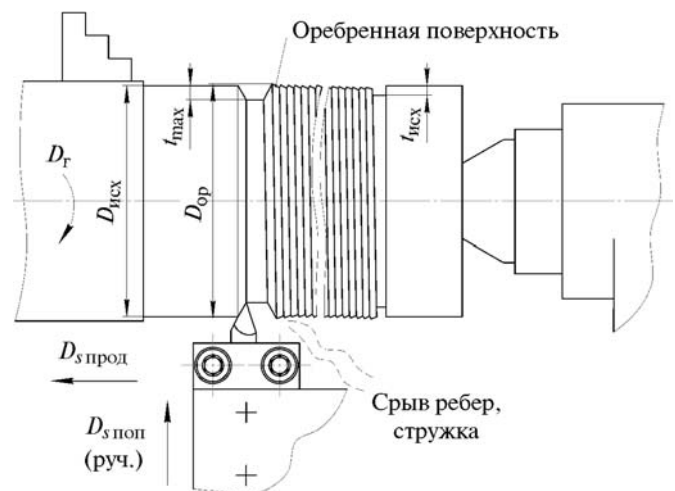


Рис. 4. Схема формирования регулярной макроструктуры методом ДР

ке начиналось с глубины резания $t = 0,25$ мм и последующим плавным увеличением до момента срыва ребра. Высота профиля макроструктуры зависела от глубины резания. Режущий инструмент для ДР имел равные углы в плане для всех проведенных экспериментов. В качестве инструментального материала использовался твердый сплав марки Н10Ф.

На рис. 5 представлена фотография регулярного макро рельефа, сформированного на наружной поверхности вала из стали 30ХГСА, с шагом структуры 0,3 мм при скорости формирования 3,15 м/с.

В результате экспериментов также были получены образцы с наклонным макро рельефом на стали 38Х2МЮА при скорости резания $V = 2,6$ м/с, подаче $S = 0,4$ мм/об и глубине резания $t = 1,4$ мм. На рис. 6 представлен шлиф с регулярным макро рельефом на стали 38Х2МЮА. Травление образца проводилось составом из 4%-ного раствора HNO_3 в среде C_2H_5OH . На фотографии отчетливо видны чередующиеся белые слои, сформированные на прирезцовой части каждого ребра структуры.

Толщина белого слоя в середине ребра составила $f = 25$ мкм, а в нижней части ребра — 70 мкм. Величина микротвердости белого слоя в среднем составляла значение, равное 740 НВ. Повышение температуры в зоне резания привело к увеличению толщины белого слоя на образцах из стали 38Х2МЮА до значений, равных 40 мкм, при этом в некоторых зонах белого слоя значение доходило до $f = 100$ мкм. Повышение температуры в зоне резания осуществ-

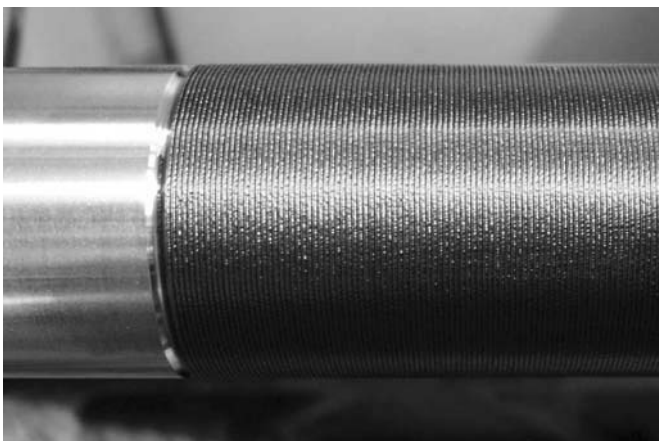


Рис. 5. Регулярная макро структура на валу диаметром 40 мм, сталь 30ХГСА

лялось за счет уменьшения величины главного и вспомогательного заднего угла режущего инструмента, что позволило увеличить мощность источника тепловыделения от взаимного трения инструмента и обрабатываемого материала.

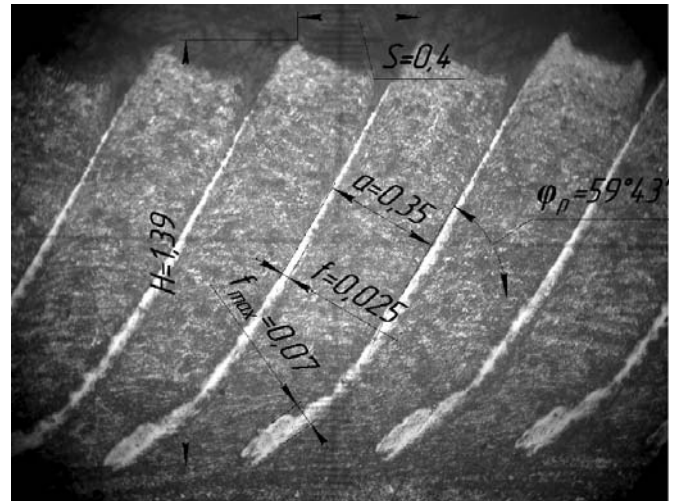


Рис. 6. Регулярный макро рельеф на стали 38Х2МЮА

При формировании регулярного макро рельефа на стали ШХ15 (рис. 7) величина белого слоя в среднем составила $f = 65$ мкм, а на стали 40Х — $f = 50$ мкм (рис. 8).

Оценка величины твердости единичного ребра осуществлялась методом измерения микротвердости по высоте и ширине ребра на образцах, вырезанных электроэрозионным способом в поперечном сечении. На рис. 9 представлена схема измерения микротвердости ребра в поперечном сечении. По результатам измерения микротвердости белого слоя на экспериментальных образцах была получена средняя величина микротвердости, равная 600—850 НВ,

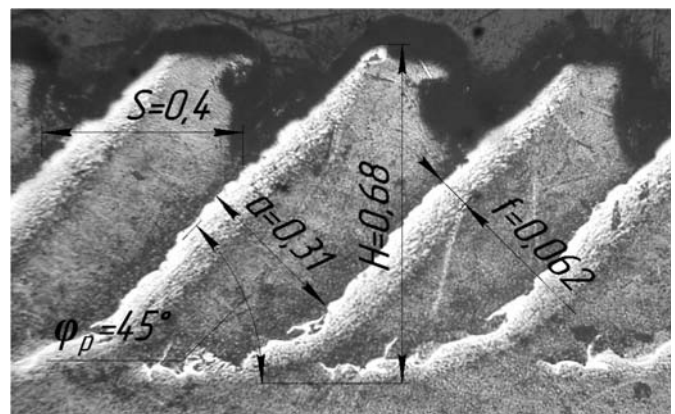


Рис. 7. Регулярный макро рельеф на стали ШХ15



Рис. 8. Регулярный макрорельеф на стали 40X

что примерно в 2,5–3 раза больше микротвердости основного материала заготовки. На рис. 10 и 11 изображено характерное распределение микротвердости на примере стали марки 40X по высоте и ширине ребра.

Для определения влияния термического отпуска на структуру и свойства белого слоя образцы подвергались отпуску при температуре 300 °С. В результате эксперимента зафиксировано, что твердость упрочненной зоны на стали ШХ15 практически осталась на прежнем уровне,



Рис. 9. Схема измерения микротвердости



Рис. 10. Распределение микротвердости по высоте ребра на стали 40X



Рис. 11. Распределение микротвердости по толщине ребра на стали 40X

не, а на стали марки 38X2МЮА уменьшилась в среднем на 120 HV единиц твердости. Для стали марки ШХ15 такой эффект можно объяснить наличием значительной доли остаточного аустенита в белом слое. Это характерно для высокоуглеродистых и высоколегированных сталей после проведения операций закалки [4, 5]. Анализ структуры полученного слоя свидетель-

ствуют, о том, что на стали ШХ15 после отпуска в прирезцовой грани ребра сохранились аустенитно-мартенситные зоны, схожие по виду и структуре с образцами до проведения операции отпуска.

Таким образом, эксперименты по формированию регулярной макроструктуры на стали показали, что данный метод механической обработки позволяет получать на наружной поверхности детали регулярную наклонную макроструктуру с зонами высокой твердости. При этом глубина слоя может достигать до 1 мм. Структура состоит из чередующихся наклонные твердых слоев толщиной в среднем

50...100 мкм и величиной твердости в диапазоне 600–850 НV.

Литература

1. Патент 2044606 РФ. Способ получения поверхностей с чередующимися выступами и впадинами и инструмент для его реализации / Н.Н. Зубков, А.И. Овчинников. (РФ). Оpubл.13.06.94 г. Бюл. № 27. 1994.
2. Основы метода деформирующего резания: Методические указания/ Н.Н. Зубков, А.И. Овчинников, С.Г. Васильев, О.В. Кононов. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005. 28 с.
3. *Лоладзе Т.Н.* Износ режущего инструмента. М.: Изд-во Машгиз, 1958. 355 с.
4. *Артингер И.* Инструментальные стали и их термообработка. М.: Металлургия, 1982. 311 с.
5. *Гольдштейн М.И., Грачев С.В.* Специальные стали. М.: Металлургия, 1985. 485 с.

Статья поступила в редакцию 20.10.2011