

УДК 621.791:621.926



В.Г. Лебедев,
д.т.н., профессор,
Одесский
национальный
политехнический
университет
e-mail:
wlebe-
dev29@rambler.ru



Е.А. Луговская,
к.т.н., доцент,
Одесский
национальный
политехнический
университет
e-mail: lug2412@mail.ru

ФАЗОВО-СТРУКТУРНЫЙ СОСТАВ ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЕВ ДЕТАЛЕЙ ПРИ ШЛИФОВАНИИ

В.Г. Лебедев, Е.А. Луговская.
Фазово-структурный состав поверхностных слоев деталей при шлифовании. Рассматривается вопрос определения структурных составляющих поверхностного слоя детали закаленного на мартенситную структуру при шлифовании, в зависимости от параметров процесса шлифования. Определение этих составляющих дает возможность правильно рассчитывать процесс обработки для получения высокого качества поверхностного слоя.

V.G. Lebedev, E.A. Lugovskaya.
Phase-structural composition of the surface layers of parts in grinding. The question of the definition of the structural components of the surface layer of details tempered on martensitic structure while grinding, depending on the parameters of the grinding process. Determination of these components enables correct and count processing for obtaining a high quality of the surface layer.

Введение. Фазово-структурный состав поверхностных слоев деталей является одной из важнейших качественных характеристик, во многом определяющей износостойкость, надежность и долговечность детали.

При шлифовании закаленных сталей часто происходит изменения фазово-структурного состава поверхностных слоев, связанные с температурным режимом в зоне контакта круга с деталью.

Материал и результаты исследования. Типичные изменения фазово-структурного состава показаны на рис. 1 и 2.

Структура закаленной стали представляет собой мартенсит, т.е. относительно нестабильную структуру, устойчивость которой снижается при повышении температуры.

Как показали исследования [1-7], процесс распада мартенсита происходит уже при комнатной температуре, однако, скорость этого распада мала и практической роли не играет.

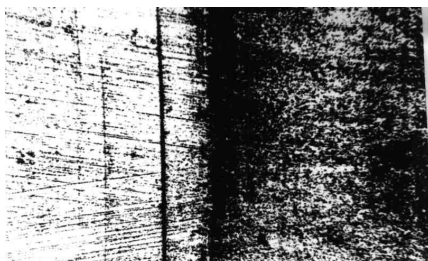


Рис. 1. Микроструктура обробленої поверхні закаленої сталі: білий шар – прижог закалки, под ним лежить темний шар отпущенного металла, переходящий в мартенситную структуру

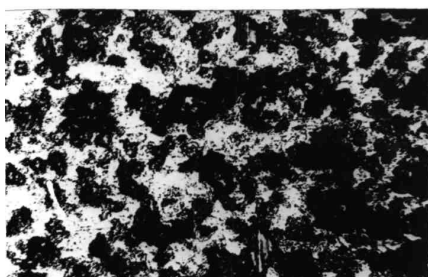


Рис. 2. Білий вторично закалений шар з вкрапленнями структури продуктів розпаду мартенсита

При повышении температуры до $100...150\text{ }^{\circ}\text{C}$ начинается заметный процесс распада мартенсита, соответствующий первому превращению отпуска. При дальнейшем росте температуры до $200...300\text{ }^{\circ}\text{C}$ происходит увеличение скорости распада мартенсита и начинается распад остаточного аустенита, который всегда присутствует в мартенситной структуре закаленной стали, что соответствует второму превращению отпуска.



Рис. 3. Темный прижог отпуска при увеличении $\times 150$ совместно с прижогом закалки

При повышении температуры до 400...500 °С происходит третье и четвертое превращение отпуска, которое заключается в рекристаллизации и коагуляции продуктов распада мартенсита.

Таким образом, в результате повышения температуры мартенсит распадается на структуры сорбита и троостита, причем, как отмечается в металлографических исследованиях, полнота распада мартенсита зависит от температуры и времени выдержки при данной температуре. Тем не менее, температура является фактором первого порядка, особенно при рассмотрении превращений в небольших объемах.

При дальнейшем повышении температуры выше линии A_{c3} наблюдается изменение фазового состава закаленного металла, заключающееся в изменении полиморфного состояния – перехода α -железа в γ -железо с образованием структуры аустенита.

Этот процесс характеризуется перестройкой кристаллической решетки и протекает без диффузий. Время, необходимое для такого превращения, чрезвычайно мало и измеряется долями микросекунд. Таким образом, это превращение зависит только от температуры.

При шлифовании могут возникать высокие температуры, которые сопровождаются большими скоростями нагрева. Так, время установления контактной температуры находится, в среднем, в пределах 3...4 мс, т.е. скорости нагрева при этом составляют 10^6 град/с, что касается мгновенных температур, то скорости нагрева здесь еще более высокие.

Время установления мгновенной температуры составляет от половины до одной мкс, т.е. скорости нагрева, примерно, $10^8 \dots 10^9$ град/с.

Скорости охлаждения поверхности могут быть оценены величинами, стоящими на порядок ниже скоростей нагрева, т.е. скорости охлаждения при шлифовании составляют примерно $10^5 \dots 10^4$ град/с.

В результате высоких скоростей нагрева и охлаждения происходят следующие превращения. Если температура поверхности поднимается выше линии A_{c3} , то происходит мгновенная перестройка кристаллической решетки из γ в α , т.е. происходит мгновенное образование аустенита.

В нормальных условиях охлаждения, аустенит превращается в мартенсит, что обычно наблюдается в процессах закалки.

Однако, как показали исследования [7, 8], при больших скоростях охлаждения, которые сопоставимы со скоростями охлаждения, имеющими место при шлифовании, происходит фиксация значительной части аустенитной структуры, т.е. увеличение скорости охлаждения подавляет мартенситное превращение. При дальнейшем увеличении скоростей охлаждения эти превращения могут быть полностью подавлены, зафиксировав, таким образом, структуру аустенита, т.е. образовав, прижог вторичной закалки.

Фиксации аустенита способствует еще и то, что точка конца мартенситного превращения M_k для большинства закаливаемых заэвтектоидных сталей находится в области отрицательных температур, в результате чего полное мартенситное превращение невозможно.

Если наличие аустенитной структуры зависит только от температуры нагрева, то объем металла, в котором эта структура образуется, или же глубина зоны аустенитного превращения, существенным образом зависит от времени воздействия температуры на поверхность.

Это происходит потому, что глубина распространения теплового поля при температуре, соответствующей температуре аустенитных превращений, зависит от времени теплового воздействия.

Структура остаточного аустенита, образующаяся в поверхностных слоях закаленных деталей при шлифовании, получила название прижога закалки. Следует отметить, что фиксация аустенитной структуры является специфической особенностью термического процесса, имеющего место при шлифовании, и не проявляется с такой интенсивностью при обычной закалке, даже при значительном перегреве выше линии A_{c3} . При охлаждении закаливаемой детали в масле, ввиду низкой его теплопроводности, теплоотвод от детали к охлаждающей среде осуществляется весьма медленно. При охлаждении же детали в воде, вокруг последней мгновенно образуется паровая пленка, теплопроводность которой на несколько порядков ниже, чем теплопроводность воды, в результате чего скорость теплообмена через последнюю значительно снижается. В большинстве случаев закаливаемые детали обладают значительной массой, в результате чего тепловой поток при закалке, направляющийся от центра к периферийным поверхностям и далее, в охлаждающую среду, как бы "подогревает" изнутри периферийные поверхности детали, резко снижая скорость их охлаждения.

При шлифовании глубина проникновения теплового поля, соответствующего температуре, необходимой для аустенитных превращений измеряется микрометрами или десятками мкм, т.е. превращения происходят в микрообъемах, при охлаждении которых тепловой поток направляется не только в окружающую среду, по законам теплообмена, но и внутрь детали, по законам металлической теплопроводности, ввиду того, что основная масса детали не нагревается, или нагревается незначительно.

Такой теплоотвод обеспечивает указанные скорости охлаждения и соответствующие им фазово-структурные превращения. Необходимо отметить, что аустенитная структура прижога закалки, тонким слоем покрывающая основной металл, обладает значительно более высокой твердостью, в результате чего при рабочих нагрузках на данные поверхности происходит продавливание, отслаивание и выкрашивание аустенитного слоя, в результате чего образуются трещины, образованию которых способствуют

высокие растягивающие напряжения, образующиеся в закаленном слое под действием высоких температур и разностей объемов и плотностей аустенита и основного металла.

В случае проникновения температурного поля в деталь при температуре, соответствующей температуре аустенитных превращений, на глубину порядка 100...150 мкм, скорости охлаждения слоев металла, отстоящих от поверхности на величину 30...40 мкм, резко снижаются, ввиду того, что перепад температур между нагретыми слоями металла значительно уменьшается. В результате этого фиксации аустенита не происходит и, как при обычной закалке в зависимости от скорости охлаждения, образуются структуры сорбита или троостита. Такие фазово-структурные превращения называются прижогами закалки с отпуском, или прижогами смешанного типа (рис. 4). В этом случае закаленный слой лежит на основе сильно отпущенного металла и разрушение закаленного слоя под действием рабочих нагрузок происходит особенно интенсивно.

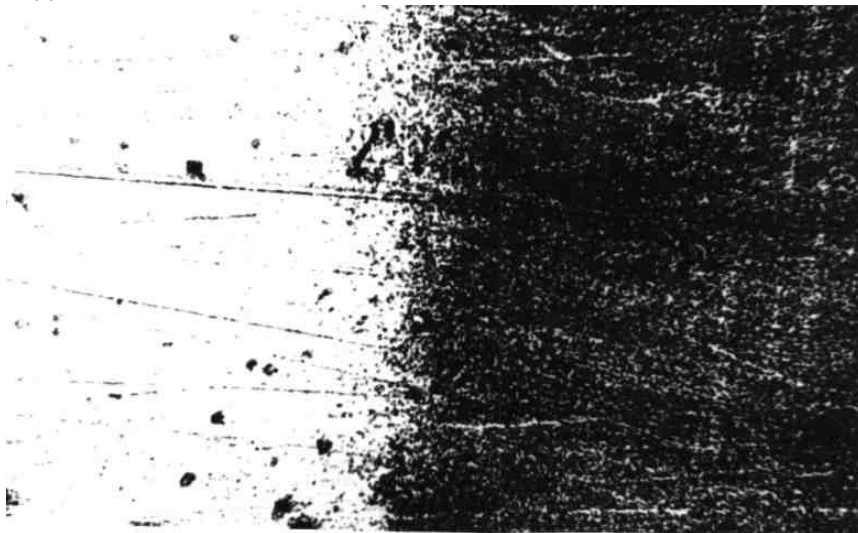


Рис. 4. Переход от прижога закалки в прижог отпуска

Большой интерес представляют превращения в шлифуемом металле, при температурах ниже линии A_{c3} . Как указывалось, заметные превращения отпуска начинаются при температуре 100...150 °С, однако, эти превращения имеют диффузионный характер и зависят от времени. В исследованиях [7, 8] отмечается, что рост скоростей нагрева и уменьшение выдержки способствует повышению температур всех четырех превращений отпуска, поэтому, при шлифовании следует ожидать, что заметные превращения отпуска будут наблюдаться при температурах порядка 400...500 °С.

Образование трооститно-сорбитной структуры в поверхностных слоях шлифуемых металлов получило название прижогов отпуска (рис. 5).

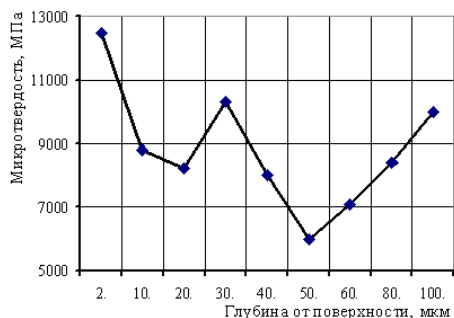


Рис. 5. Графік изменения микротвердости закаленной стали ШХ15 при шліфовании кругом Э9А12СМ1К

Отпущенная поверхность, имея значительно меньшую твердость, чем твердость основного металла, быстро разрушается под действием рабочих нагрузок, что также приводит к выходу из строя детали. Вредное влияние всех видов прижогов при шліфовании в общем виде выражается в том, что они снижают долговечность деталей на 40...70 % [9-11]. Зависимость глубины прижога поверхности от времени действия теплового источника показана на рис. 6.

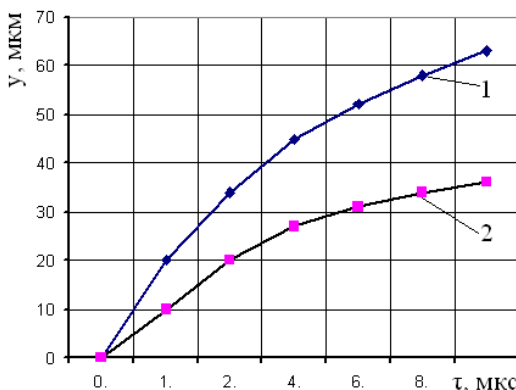


Рис. 6. Зависимость глубины прижога поверхности от времени действия теплового источника: 1 – сталь ШХ15, 2 – сталь ШХ9, $T=1000^{\circ}\text{C}$

Исследования, проведенные в настоящей работе, показали, что при шліфовании могут образовываться прижоги всех типов, причем, наличие прижогов того или иного вида и глубина его распространения зависит от температурно-временного фактора.

Проведенное исследование дало возможность установить эмпирическую зависимость глубины прижога смешанного типа и прижогов отпуска (y), возникающих под действием контактной температуры шлифования.

Эта зависимость связывает температуру перегрева над критическими точками (T), время воздействия данной температуры (τ) и теплофизические характеристики детали (α)

$$y = 4,18 \cdot T^{1,43} \cdot \tau^{0,36} \cdot \alpha^{0,68}.$$

Проведенное исследование показало, что в ряде случаев, когда контактная температура была ниже точек, соответствующих превращениям закалки и отпуска при шлифовании, на поверхности металла наблюдалась сетка прижогов, как закалки, так и отпуска. Глубина этих прижогов колебалась от 5 до 20 мкм, и вызывались они воздействием на металл импульсной температуры, которая является суммой мгновенной и контактной температур.

Величина этой температуры может быть выше критических точек, даже в том случае, если контактная температура ниже этих точек. Кратковременное воздействие данной температуры на металл не давало оснований ожидать значительной глубины прижогов, подобно той, которая была установлена.

Повышенная глубина прижогов в этом случае должна быть связана не только с импульсной температурой, но и с удельными давлениями, возникающими при контакте зерен круга с металлом. Микроструктура прижогов от импульсной температуры показана на рис.7.

В работе [12] на основании экспериментальных данных установлено, что при давлениях порядка 10^4 МПа, происходит снижение критических точек. При шлифовании удельные давления при контакте зерна с металлом составляют величину указанного порядка, т.е. в этих условиях под действием импульсной температуры процесс закалки и отпуска происходит при более низких температурах, чем и объясняется значительная глубина прижогов.

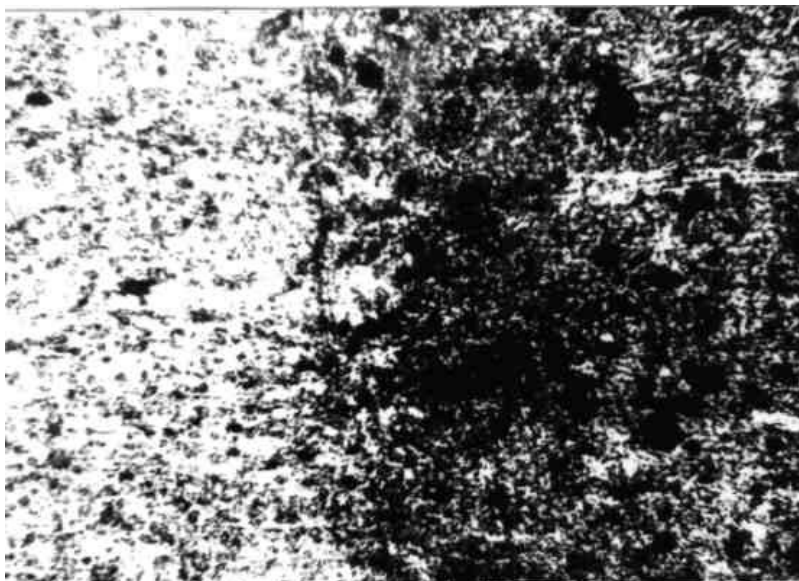


Рис. 7. Сетка прижогов от импульсной температуры

Выводы. Фазово-структурные превращения при шлифовании сталей закаленных на мартенсит происходят вследствие того, что контактная температура шлифования часто превышает значения температуры A_{c3} для шлифуемой стали. В этом случае происходит мгновенное образование в поверхностном слое аустенита вследствие обратного мартенситного превращения.

При охлаждении поверхностного слоя, ввиду высоких скоростей охлаждения, а также ввиду того, что точка M_k для таких сталей, как правило, находится в области отрицательных температур значительная часть аустенита фиксируется в поверхностном слое, образуя так называемый прижог закалки.

Если температура при шлифовании ниже точки A_{c3} , но находится в области значений $500-600^{\circ}\text{C}$, то происходит скоростной отпуск мартенсита, в результате чего образуются структуры сорбита или троостита которые получили название прижогов отпуска.

Образование прижогов закалки связано с фазовыми переходами $Fe_{\alpha} \rightarrow Fe_{\gamma} \rightarrow Fe_{\alpha}$.

Образование прижогов отпуска не связано с фазовыми переходами, а происходит за счет структурных изменений мартенсита.

Полное исключение прижогов закалки и отпуска возможно лишь при поддержании температуры шлифования ниже соответствующих критических точек.

Литература

1. Кидин, И.Н. Фазовые превращения при ускоренном нагреве стали [Текст] – М. : Металлургия, 1975. – 312 с.
2. Кидин, И.Н. Физические основы электротермической обработки металлов и сплавов [Текст] – М. : Металлургия, 1969. – 423 с.
3. Мартенситные превращения / Под ред. В.Н. Гриднева. – Киев: Наукова думка, 1979. – 370 с.
4. Мартенситные превращения / Под ред. В.Н. Гриднева. – Киев: Наукова думка, 1976. – 352 с.
5. Моделирование теплофизических процессов импульсного лазерного воздействия на металлы / А.А. Углов, И.Ю. Смуров, А.М. Лашин, А.Г. Гуськов. – М. : Наука, 1991. – 287 с.
6. Якимов, А.В. Основы теории обеспечения и стабилизации качества поверхностного слоя при прерывистом шлифовании зубчатых колес. – Харьков : Институт системных исследований образования, 1997. – 212 с.
7. Якимов, А.В. Основы теории тепловых процессов при шлифовании металлов : дис. ... д-ра техн. наук. – М., 1970. – 497 с.
8. Мешков, Ю.А. К теории перлитно-аустенитного превращения при нагреве стали // Фазовые превращения в металлах и сплавах. – Киев, 1965. – С. 4-16.
9. Маталин, А.А. Повышение долговечности деталей в процессе их технической обработки // Технологические методы повышения точности, надежности и долговечности в машиностроении. – Одесса: НТО машпром, 1966. – С. 34-54.
10. Маталин, А.А. Новые направления развития технологии чистовой обработки – Киев: Техника, 1972. – 136 с.
11. Маталин, А.А. Технологические методы повышения долговечности деталей машин – Киев: Техника, 1971. – 142 с.
12. Любов, Б.Я. Кинетическая теория фазовых превращений – М. : Металлургия, 1969. – 375 с.

Надійшла до редакції 24.01.2015