

**ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ СПОСОБОВ ШЛИФОВАНИЯ
НА СОСТОЯНИЕ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ
ОБРАБАТЫВАЕМЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Н. В. Азарова, к. т. н., доц., В. П. Цокур, к. т. н., доц., М. С. Биличенко, студ.

Донецкий национальный технический университет, г. Донецк, Украина

Эксплуатационные свойства материалов в значительной мере зависят от физико-механического состояния поверхностного слоя, сформированного различными способами обработки. Так, даже небольшие по величине остаточные напряжения увеличивают усталостную прочность [1].

Возникновение остаточных напряжений при механической обработке обусловлено совместным действием трех факторов: силового, теплового и фазового [1, 2]. Вместе с тем возникновение макронапряжений можно объяснить, в первом приближении, действием только двух факторов – механического (пластического деформирования), приводящего к появлению только сжимающих напряжений, и теплового (нагрева поверхностного слоя), являющегося причиной образования только растягивающих напряжений [2]. В зависимости от условий резания доминирующим может быть или механический фактор, и тогда на поверхности возникнут напряжения сжатия, или тепловой фактор, и тогда на поверхности возникнут напряжения растяжения.

Целью работы является установление влияния способов шлифования и зернистости алмазных кругов на величину и характер распределения остаточных напряжений в поверхностном слое образцов из титанового сплава ВТ14 и быстрорежущей стали Р6М5Ф3.

Шлифование образцов проводили на модернизированном плоскошлифовальном станке модели ЗГ71 кругами 1А1 250×76×15×5 следующих характеристик АС6 100/80-4-М2-01, АС6 160/125-4-М2-01, АС6 250/200-4-М2-01. В качестве источника технологического тока использовали блок питания модели ИТТ-35. Охлаждающей жидкостью являлся 0,3%-ный водный раствор кальцинированной соды. Образцы размерами 60×6×3 мм были изготовлены из одной заготовки и термически обработаны по стандартной технологии.

Перед проведением каждого эксперимента шлифовальный круг правили электроэрозионным способом на медном электроде на следующих режимах: скорость круга $v_k=35$ м/с, скорость детали v_d равна нулю, вертикальная подача $s_g=0,002\dots 0,005$ мм/ход, поперечная подача s_{non} ручная, средняя сила тока $I_{cp}=8\dots 10$ А, напряжение холостого хода $U_{xx}=60$ В. Время правки 10-20 мин до полного удаления следов воздействия на рабочую поверхность круга (РПК) предшествующего способа обработки. После правки для стабилизации характеристик РПК [3] круг прирабатывали в течение 15 мин алмазным шлифованием на режимах: $v_k = 35$ м/с, $v_d = 6$ м/мин, глубина шлифования $t=0,015$ мм, $s_{non} = 1,5$ мм/ход, обрабатываемый материал – сплав ВТ14 или сталь Р6М5Ф3 в зависимости от исследуемого материала. Затем исследуемые образцы обрабатывали различными способами шлифования: алмазноэлектроэрозионным шлифованием (АЭЭШ), алмазным шлифованием с одновременной электроэро-

зионной правкой (ЭЭП) в автономной зоне и алмазным шлифованием. Обработку проводили в течение 60 мин на режимах $v_k = 35$ м/с, $v_d = 6$ м/мин, $t=0,015$ мм, $s_{\text{нон}} = 0$. При АЭШ и шлифовании с ЭЭП в автономной зоне сплава ВТ14 и стали Р6М5Ф3 кругами исследуемых зернистостей $U_{xx}=50$ В.

Остаточные напряжения измеряли после семи проходов [4], в результате которых были выбраны зазоры в сопряжениях шлифовальной бабки и шпиндельного узла станка, и фактическая глубина шлифования соответствовала установленной по лимбу вертикальной подаче.

Определение остаточных напряжений проводили по методу Н.И. Давиденкова, который позволяет определить характер распределения остаточных напряжений по глубине образца от микрометра до нескольких миллиметров. С исследуемой поверхности образца удаляют слои металла, в результате чего происходит деформация образца. По степени деформации образца рассчитывают остаточные напряжения.

Стравливание поверхностных слоев и определение изгиба образца, вызванного внутренними напряжениями, выполняли на установке «Пион-2» [5].

Электролитическое травление образцов производили в электролитах, состав которых приведен в таблице 1.

Таблица 1

Режимы электролитического травления образцов

Обрабатываемый материал	Состав электролита	Плотность тока, А/см ²	Скорость травления, мкм/мин
Титановый сплав ВТ14	HNO ₃ – 50% HF – 10% H ₂ O – 40%	0,12	1,8 – 2,0
Быстрорежущая сталь Р6М5Ф3	H ₃ PO ₄ – 50% H ₂ SO ₄ – 30% H ₂ O – 20%	0,42	1,8 – 2,0

Толщину стравленного слоя образца определяли по формуле

$$\delta = \frac{Q_1 - Q_2}{l_{mp} \cdot B_{cp} \cdot \gamma} \cdot 10^6,$$

где δ – толщина стравленного слоя, мкм; Q_1 – масса образца до травления, г; Q_2 – масса образца после травления, г; l_{mp} – длина стравленной поверхности, мм; B_{cp} – ширина образца, мм; γ – плотность материала образца, г/см³.

Остаточные напряжения определяли по формуле для образца с консольным закреплением

$$\sigma = \frac{E \cdot H_{cp}^2 \cdot l_l}{9 \cdot l^2 \cdot \delta} \cdot \text{tg} \alpha,$$

где σ – напряжение, МПа; E – модуль упругости первого рода материала образца, МПа; H_{cp} – толщина образца, мм; l – расстояние от места измерения прогиба образца до закрепления, мм; δ – толщина стравленного слоя, мкм; l_n – длина диаграммной ленты, занимаемая кривой деформации образца, мм; $tg\alpha$ – тангенс угла наклона касательной, проведенной к кривой деформации образца в точках, соответствующих толщине стравленного слоя.

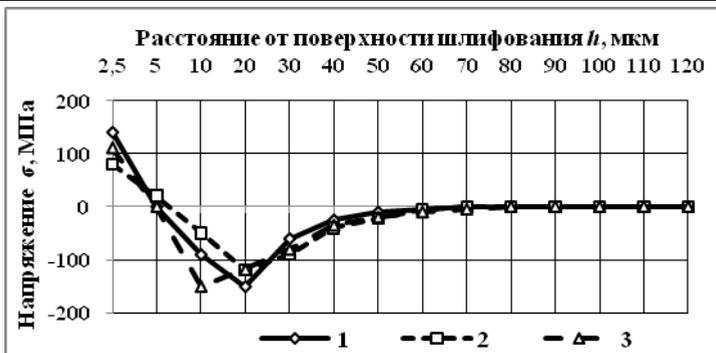
Знак остаточных напряжений определяли по направлению движения свободного конца образца: при растягивающих напряжениях свободный конец образца перемещается вверх, при сжимающих – вниз.

Результаты экспериментов по влиянию способа шлифования и зернистости кругов на знак и величину остаточных напряжений в поверхностном слое при обработке титанового сплава ВТ14 представлены на рис. 1.

Анализ приведенных графиков (см. рис. 1) показывает, что при обработке титанового сплава ВТ14 алмазным шлифованием и шлифованием с ЭЭП в автономной зоне для кругов всех зернистостей в поверхностном слое до 5 мм имеют место растягивающие напряжения, вызванные доминирующим влиянием теплового фактора в результате низкой теплопроводности сплава, которые затем по мере увеличения расстояния h от шлифованной поверхности переходят в сжимающие, достигая максимального значения 150 МПа на расстоянии 20 мкм. При дальнейшем увеличении расстояния от поверхности величины напряжений снижаются и при $h=60$ мкм их значение близко к нулю. При АЭ-ЭШ влияние зернистости на остаточные напряжения более существенно. Так, если для зернистости 250/200 растягивающие напряжения не имеют места на глубине более 5 мкм, то для зернистостей 100/80 и 160/125 при $h>25$ мкм получены напряжения растяжения, которые зарегистрированы даже при $h=120$ мкм. Следовательно, введение электрической энергии в зону резания при обработке титанового сплава ВТ14 кругами зернистостей 100/80 и 160/125 создаст неблагоприятные растягивающие напряжения.

Рассмотрим влияние способов шлифования и зернистости кругов на знак и величину остаточных напряжений в поверхностном слое при обработке быстрорежущей стали Р6М5Ф3 (рис. 2).

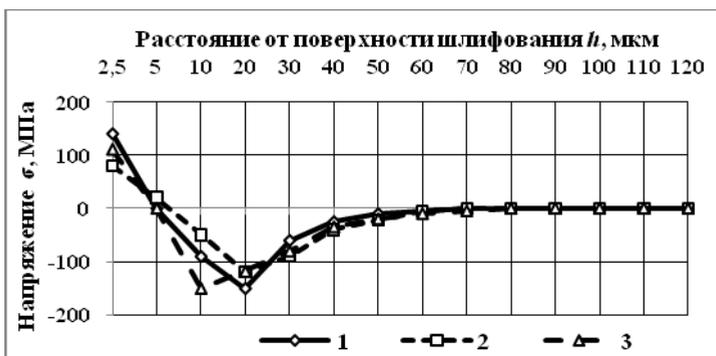
Как, видно из приведенных данных (см. рис. 2), независимо от способа шлифования и зернистости круга, сжимающие напряжения возникают по всей глубине травления, а их максимальные значения 350-750 МПа расположены на расстоянии 5 мкм от поверхности. При дальнейшем увеличении расстояния h от шлифованной поверхности величина напряжений уменьшается и на расстоянии 40-80 мкм равна нулю. Следует отметить, что для круга зернистости 100/80 при АЭЭШ на глубине более 30 мкм появляются напряжения растяжения величиной 50-75 МПа, что связано с уменьшением межэлектродного промежутка и более сильным по сравнению с кругами других зернистостей воздействием дополнительного теплового источника, обусловленного электрической эрозией. Появление сжимающих напряжений в остальных случаях связано с преобладанием пластических деформаций в формировании обработанной поверхности. Полученные данные показывают, что при шлифовании стали Р6М5Ф3 предпочтение следует отдать алмазному шлифованию с ЭЭП в автономной зоне либо АЭЭШ кругами зернистостью 160/125 и 250/200.



а

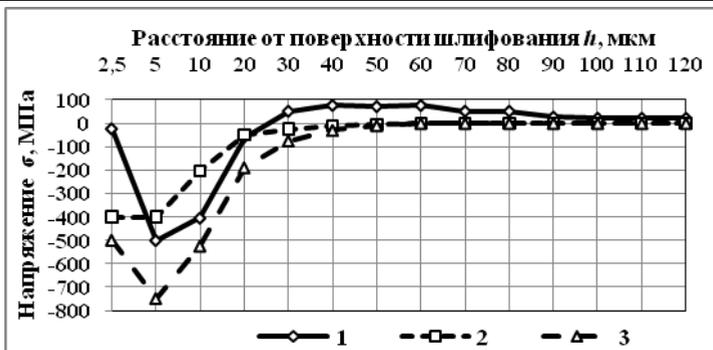


б

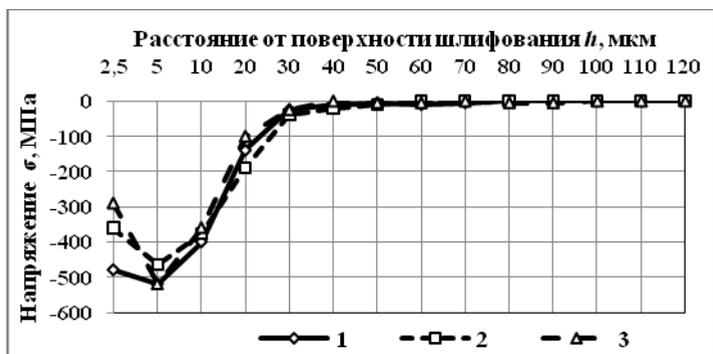


в

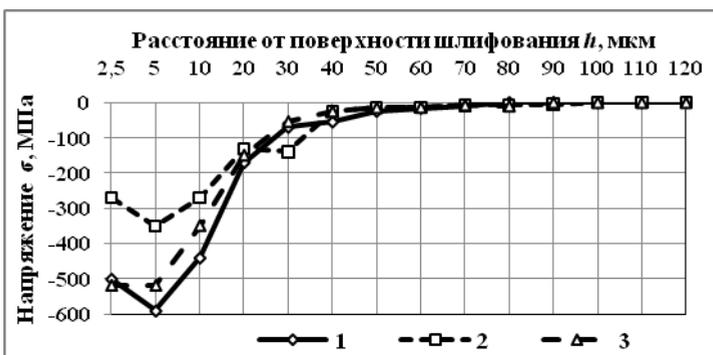
Рис. 1. Зависимость остаточных напряжений от способа шлифования титанового сплава ВТ14 кругами АС6 100/80 (а), АС6 160/125 (б), АС6 250/200 (в): 1 – АЭЭШ; 2 – шлифование с электроэрозионной правкой в автономной зоне; 3 – алмазное шлифование



а



б



в

Рис. 2. Зависимость остаточных напряжений от способа шлифования быстрорежущей стали Р6М5Ф3 кругами АС6 100/80 (а), АС6 160/125 (б), АС6 250/200 (в): 1 – АЭЭШ; 2 – шлифование с электроэрозионной правкой в автономной зоне; 3 – алмазное шлифование

Анализ результатов экспериментов по исследованию влияния способов шлифования и зернистости алмазных кругов на величину и характер распределения остаточных напряжений в поверхностном слое образцов из титанового сплава ВТ14 и быстрорежущей стали Р6М5Ф3 позволяет сделать следующие выводы.

1. При обработке титанового сплава ВТ14 алмазным шлифованием и шлифованием с электроэрозионной правкой в автономной зоне независимо от зернистости круга в поверхностном слое глубиной до 5 мкм имеют место растягивающие напряжения, которые с увеличением расстояния от поверхности переходят в сжимающие. При алмазноэлектроэрозионном шлифовании распределение внутренних напряжений зависит от зернистости шлифовального круга. Так, если для круга зернистости 250/200 характер распределения напряжений практически одинаков с другими способами шлифования, то для кругов зернистостей 100/80 и 160/125 на глубине более 25 мкм возникают растягивающие напряжения.

2. При шлифовании стали Р6М5Ф3 кругами из алмазов АС6 в поверхностном слое образуются сжимающие напряжения при всех исследованных способах шлифования. С увеличением расстояния от обрабатываемой поверхности для зернистостей 160/125 и 250/200 их величина приближается к нулю, и лишь для зернистости 100/80 при алмазноэлектроэрозионном шлифовании сжимающие напряжения на глубине 25 мкм переходят в растягивающие.

3. При шлифовании сплава ВТ14 следует отдать предпочтение алмазному шлифованию с электроэрозионной правкой в автономной зоне, а при шлифовании стали Р6М5Ф3 – алмазному шлифованию с электроэрозионной правкой в автономной зоне либо алмазноэлектроэрозионному шлифованию кругами из алмазов АС6 зернистостью 160/125 и выше.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Фукс М.Я. Состояние поверхностного слоя материалов после алмазной и эльборовой обработки / М.Я. Фукс, Н.К. Беззубенко, Б.М. Свердлова. – Киев: Вища школа, 1979. – 160 с.

2. Сулима А.М. Поверхностный слой и эксплуатационные свойства деталей машин / А.М.Сулима, В.А. Шулов, Ю.Д. Ягодкин. – М.: Машиностроение, 1988. – 240 с.

3. Матюха П.Г. Високопродуктивне шліфування ванадієвих штампових та інструментальних сталей / П.Г. Матюха. – Донецьк: ДВНЗ «ДонНТУ», 2008. – 222 с.

4. Азарова Н.В. Экспериментальное определение параметров шероховатости шлифованной поверхности / Н.В. Азарова, В.П. Цокур // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: Машинобудування і машинознавство. – Донецьк: ДонНТУ, 2011. – Випуск 8 (190). – С. 9-15.

5. Цокур В.П. Повышение производительности и качества обработки труднообрабатываемых материалов при алмазном шлифовании с электроэрозионным воздействием на рабочую поверхность круга: дис.... канд. техн. наук: 05.03.01 / Цокур Виктор Пантелеевич– Донецк, 1994. – 259 с.