

УДК 621.822.681.2:369.64

С.А.. Аль Аджейлат<sup>1</sup>, В.Г. Лебедев<sup>2</sup>, Е.А..Луговская<sup>2</sup><sup>1</sup>ОАО «Прессмаш»<sup>2</sup>Одесский национальный политехнический университет

## КАЧЕСТВО ОБРАБАТЫВАЕМЫХ ДЕТАЛЕЙ ПРИ ЭЛЬБОРОВОМ ШЛИФОВАНИИ НАПРАВЛЯЮЩИХ ПРЕССОВ

*Рассмотрены закономерности формирования качественных характеристик поверхностного слоя деталей из цементированных и закаленных сталей при шлифовании кругами из КНБ (эльбор).*

*Показаны закономерности формирования величины шероховатости, фазово - структурного состава поверхностного слоя, и величины остаточных напряжений в зависимости от характеристик кругов и режимов обработки. Приведенные данные дают возможность назначать режимы которые обеспечивают неизменность структуры, отсутствие трещин и приемлемый уровень остаточных напряжений в поверхностном слое, что повышает долговечность и рабочий ресурс при эксплуатации деталей.*

Ключевые слова: *шероховатость, фазово – структурный состав, остаточные напряжения.*

### Вступление

Качественные характеристики деталей, такие как надежность и долговечность, обуславливаются рядом факторов, которые формируются в процессе обработки.

С одной стороны, высокая надежность и долговечность обеспечиваются точностью обработки, а с другой — фазово-структурным и физико-механическим состоянием поверхностного слоя, определяемым шероховатостью поверхности, наклепом, а также величиной и знаком остаточных напряжений.

**Цель исследования** – исследовать качественные характеристики поверхностного слоя при шлифовании деталей из закаленных сталей кругами из КНБ, а именно – шероховатость поверхности, фазово-структурный состав поверхностного слоя и величину остаточных напряжений.

### Шероховатость поверхности

Как показывает опыт, детали в точном машиностроении и приборостроении, а также различные детали гидроаппаратуры должны иметь низкие значения шероховатости поверхности, соответствующие  $Ra = 0,15 - 0,25$ .

Данная шероховатость при абразивном шлифовании достигается с большим трудом, в результате чего приходится вводить дополнительные доводочные операции.

С этой точки зрения, возможности эльборового шлифования могут быть использованы наиболее полно, так как в общем случае шероховатость поверхности при эльборовом шлифовании ниже, чем при абразивном. Изучение закономерностей шероховатости поверхности от факторов обработки может дать возможность строить процесс так, чтобы стабильно поддерживать требуемое значение шероховатости.

Результаты исследований показали, что большое влияние на шероховатость оказывает зернистость шлифовального круга. Так, изменение зернистости шлифовального круга с 8 до 20 снижает шероховатость на 20 %. Это объясняется тем, что при увеличении зернистости круга растут радиусы закругления зерен, возрастают силы, действующие на зерно, и увеличивается величина углубления зерна в металл.

Связка эльборовых кругов также оказывает влияние на величину шероховатости. Как показали исследования, шероховатость поверхности при шлифовании кругами на органических связках на 15-10% ниже, чем при шлифовании кругами на керамических связках. Это можно объяснить тем, что органические связки более эластичны и при увеличении сил, действующих на зерно, последние больше углубляется в органическую связку, чем в керамическую, что соответственно уменьшает величину углубления зерна в металл.

Режимы обработки также оказывают большое влияние на величину шероховатости.

Так, например, при шлифовании крутом зернистости 12, увеличение скорости вращения шлифовального круга с 22 до 33 м/с, глубины резания 0,015 мм и поперечной подаче 5 мм/ход стола параметр шероховатости  $Ra$  уменьшается со значения 0,3 до 0,22 мкм. Это объясняется тем, что при увеличении скорости вращения круга в съеме металла принимает участие большее число режущих зерен, в результате чего уменьшается сечение стружки, снимаемой эльборовым зерном, уменьшается величина углубления зерна в металл.

Увеличение поперечной подачи приводит к некоторому снижению величины шероховатости. Так, при указанных режимах обработки, уменьшение поперечной подачи с 5 до 1,5 мм/ход приводит к росту шероховатости на 10...15 %. При увеличении поперечной подачи возрастает площадь пятна контакта круга с металлом и растет число зерен, принимающих участие в съеме металла.

Чем больше скорость детали, тем ниже величина шероховатости, что объясняется уменьшением сечения стружки, снимаемой эльборовым зерном.

Увеличение глубины резания приводит к росту шероховатости поверхности, ввиду возрастания величины углубления зерна в металл.

Математическая обработка экспериментальных данных позволила получить зависимость шероховатости поверхности в следующем виде:

$$Ra = \frac{1,49 v_{\phi}^{0,14} \cdot t^{0,16} \cdot r^{0,5}}{S^{0,27} \cdot v_{кр}^{0,53}}$$

Как показали исследования, при скорости вращения круга 30...35 м/с и глубине резания 0,010...0,015 мм величина шероховатости стабильно соответствует 0,3 – 0,25 мкм.

При чистовых операциях, увеличивая скорость вращения круга до 40...45 м/с и уменьшая величину глубины резания до 5 мкм, значение шероховатости поверхности стабильно соответствует 0,20 – 0,15 мкм, что позволяет полностью отказаться при чистовой обработке деталей от доводочных операций (рис. 1).

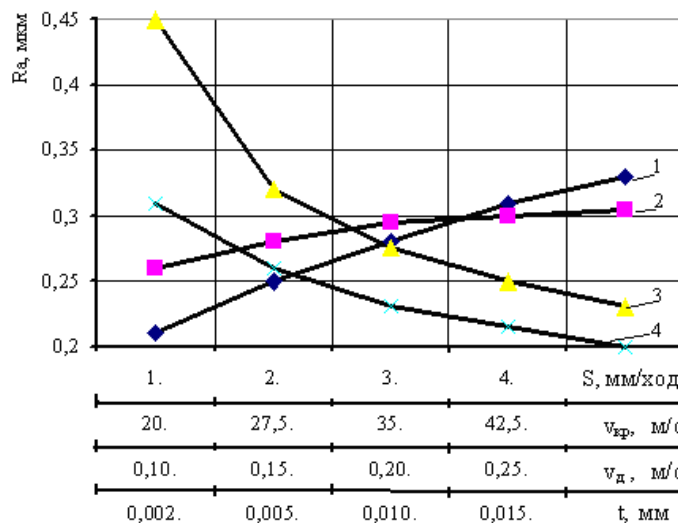


Рис. 1. Зависимость шероховатости поверхности от режимов шлифования стали 12Х2Н3А кругом ЛО20С1К8-100%

( $v_{кр}=35$  м/с,  $t = 0,010$  мм,  $v_d = 0,15$  м/с,  $S = 1,5$  мм/ход стола):

1 —  $Ra = f(t)$ , 2 —  $Ra = f(v_d)$ , 3 —  $Ra = f(S)$ , 4 —  $Ra = f(v_{кр})$

### Фазово-структурный состав поверхностных слоев деталей при шлифовании кругами из КНБ

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.

В настоящее время еще не выведено строгих количественных зависимостей, связывающих фазово-структурные превращения с факторами обработки.

Структура остаточного аустенита, образующаяся в поверхностных слоях закаленных деталей при шлифовании, получила название прижога закалки.

При низких скоростях охлаждения фиксации аустенита не происходит и, как при обычной закалке, образуются структуры сорбита или троостита. Такие фазово-структурные превращения называются прижогами закалки с отпуском, или прижогами смешанного типа (рис. 2). В этом случае закаленный слой лежит на основе сильно отпущенного металла и разрушение закаленного слоя под действием рабочих нагрузок происходит особенно интенсивно.

Образование трооститно-сорбитной структуры в поверхностных слоях шлифуемых металлов получило название прижогов отпуска. 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 шлифовании в общем виде выражается в том, что они снижают долговечность деталей на 40...70%.

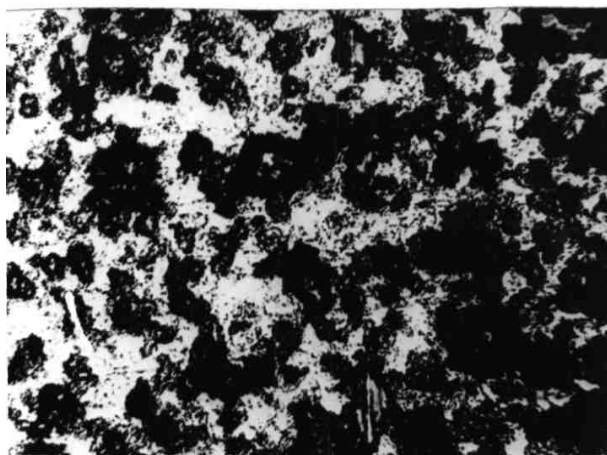


Рис. 2. Белый вторично закаленный слой с вкраплениями структуры продуктов распада мартенсита

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

Эта зависимость связывает температуру перегрева над критическими точками, время воздействия данной температуры и теплофизические характеристики детали:

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

где  $y$  – глубина прижога,  $T$  – температура перегрева над критической точкой,  $\tau$  – время воздействия температуры,  $\alpha$  – коэффициент теплопроводности металла.

В качестве критической точки при определении прижогов отпуска принимается для легированных сталей температура 500 °С – температура третьего превращения отпуска..

### **Остаточные напряжения в поверхностных слоях детали**

Остаточные напряжения в поверхностном слое в значительной степени можно рассматривать как результат воздействия высокой температуры на поверхность металла.

Механизм образования остаточных напряжений при шлифовании заключается в следующем [1, 2, 3, 5, 6].

Под действием тепла, возникающего в процессе резания, верхние слои нагреваются до высокой температуры. После прекращения резания происходит быстрое охлаждение этих слоев, сопровождающееся их сжатием, но сжатию препятствуют нижние слои, оставшиеся холодными. В результате в верхних слоях возникают остаточные напряжения растяжения, а в нижних – уравновешивающие их напряжения сжатия [1, 2, 3, 5, 6].

При высоких температурах резания в поверхностном слое обрабатываемой детали могут происходить структурные превращения, связанные с объемными изменениями детали. Структурные превращения, происходящие при увеличении объема – перехода аустенита в мартенсит – вызывают остаточные напряжения сжатия, а при уменьшении объема – перехода мартенсита в троостит – остаточные напряжения растяжения.

При абразивном шлифовании остаточные напряжения чаще всего бывают растягивающими и могут достигать до величин 900...1000 МПа, т.е. в ряде случаев могут превышать предел прочности металла, в результате чего под действием этих напряжений происходит образование трещин.

В настоящих исследованиях величина остаточных напряжений растяжения не превышала 300...400 МПа.

Исследования показали также, что имеется определенная качественная закономерность между величиной температуры и остаточными напряжениями. Так, в тех случаях, когда контактная температура поверхности достигала своих максимальных значений, то величина остаточных напряжений составляла 350...400 МПа. В случае же, когда температурный режим благоприятный, т.е. контактные температуры порядка 250...300 °С остаточные напряжения в поверхностном слое находятся в интервале 100...150 МПа.

Максимальные значения остаточных напряжений соответствуют слою толщиной 10-15 мкм, после чего величина напряжений резко убывает, доходит до нуля или даже меняет свой знак. Эти данные хорошо согласуются с результатами измерения микротвердости прошлифованной поверхности (рис. 3).

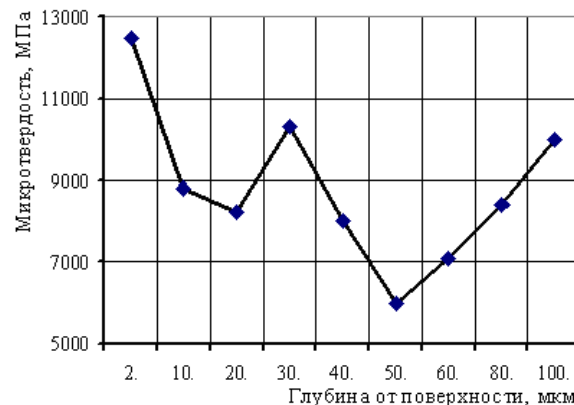


Рис. 3. Измерения микротвердости прошлифованной поверхности

На рис. 3 показано изменение микротвердости, соответствующее прижогу закалки. Так, в поверхностном слое ввиду высоких температур и больших скоростей охлаждения, вызванных применением СОЖ, в тонком поверхностном слое образовалась структура аустенита закалки. На глубине 25...30 мкм от поверхности, наблюдается зона малой микротвердости. Она соответствует структурам отпуска, образовавшимся, с одной стороны в результате того, что на низлежащие слои металла воздействовала меньшая температура, а с другой [1, 2, 3, 5, 6] стороны, в результате того, что скорости охлаждения этих слоев были достаточно медленными. На глубине 150...200 мкм микротвердость повышается и при 250 мкм достигает исходного значения микротвердости основного металла.

Наибольшие величины остаточных напряжений согласуются с зонами высокой микротвердости, что соответствует структуре аустенита вторичной закалки. Зоны значительного падения микротвердости, по сравнению с исходной, соответствуют прижогам отпуска. Они также согласуются со значительной величиной остаточных напряжений, меньшей, однако, чем величина максимальных. И, наконец, зоны микротвердости, равной исходной, как правило, соответствуют небольшим сжимающим напряжениям.

Проведенное исследование позволяет утверждать, что снижение остаточных напряжений при шлифовании может быть получено созданием благоприятного температурного режима в зоне контакта эльборового круга с деталью. Сравнение эльборового шлифования с обычным показывает, что после эльборового шлифования остаточные напряжения в поверхностном слое в 1,5 раза ниже, чем при абразивном. Это объясняется меньшими контактными температурами при обработке.

### ВЫВОДЫ

1. Шероховатость поверхности при эльборовом шлифовании зависит от всех параметров режима обработки, причем, наибольшее влияние оказывает зернистость шлифовального круга и скорость его вращения. Шероховатость обычно находится в диапазоне  $Ra = 0,15 - 0,25$ . Для получения низкой шероховатости необходимо обработку вести кругами на керамической связке зернистостью 5...12 при скорости вращения круга от 35 до 50 м/с.

2. Фазово-структурные превращения в поверхностном слое прошлифованных деталей зависят от температуры поверхности и времени контакта шлифовального круга с поверхностью. При напряженных режимах обработки, например, при скорости круга 45...50 м/с, скорости детали 0,25 м/с, глубине резания 15...20 мкм, в поверхностном слое наблюдаются интенсивные прижоги закали с отпуском, оказывающие отрицательное влияние на эксплуатационные характеристики детали. При режимах обработки  $v_{кр}=25...30$  м/с,  $v_d=0,1$  м/с,  $t=2...5$  мкм, зернистости кругов 12-20, фазово-структурные превращения в поверхностном слое отсутствуют.

3. Величина и знак остаточных напряжений тесно связаны с температурным режимом в зоне резания и с наличием фазово-структурных превращений. Величина остаточных напряжений может достигать 500...800 МПа. При режимах обработки, обеспечивающих отсутствие фазово-структурных превращений в поверхностных слоях шлифованных деталей, величина остаточных напряжений составляет 250...350 МПа.

1. Корчак С.Н. Производительность процесса шлифования стальных деталей / С.Н. Корчак. — М. : Машиностроение, 1974. — 311 с.
2. Лебедев В.Г. Шлифование зубчатых колес абразивными, алмазными и эльборовыми кругами / В.Г.Лебедев. — К. : Техника, 1973. — 47 с.
3. Маталин А.А. Технологические методы повышения долговечности деталей машин / А.А.Маталин. — К. : Техника, 1971 — 47 с.
4. Лебедев В.Г, Аль Аджейлат С.А. Качество поверхности при эльборовом шлифовании валов к гидравлическим насадочным прессам и к прессам для обжима буртов бандажей колес. Новые и нетрадиционные технологии в ресурсо- и энергосбережении. Одесса — Киев: АТМ Украины, 2006. С. 51 - 54...0,2 авт.л.
5. Лебедев В.Г, Клименко Н.Н. Улучшение качества поверхности при шлифовании напыленного слоя армированного карбидами. Вісник національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут".Збірник наукових праць. Тематичний випуск : Технології в машинобудуванні. — Харків: НТУ "ХПІ". — 2007. — №1. — 144 с. 0,25 авт.л.
6. Лебедев В.Г., Чумаченко Т.В. Повышение трещиностойкости напыленных керамических слоев при шлифовании. Новые и нетрадиционные технологии в ресурсо- и энергосбережении: Мат. Международной научно-технической конференции. Одесса — Киев.: АТМ Украины, 2007. — С. 130— 133.