

УДК 621.923–5

В.Г. Лебедев, д-р техн. наук, Е.А. Луговская, канд. техн. наук,
А.В. Овчаренко, Одесса, Украина

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ШЛИФОВАНИЯ МАРТЕНСИТНО-СТАРЕЮЩЕЙ СТАЛИ, N18K9M5T

Предметом исследования является процесс шлифования мартенситно-старееющей стали, а именно N18K9M5T. Объектом исследования – величина углубления зерен шлифовального круга из КНБ в металл, объем удаляемого металла, удельная мощность, производительность процесса шлифования и удельный износ шлифовального круга.

Ключевые слова: КНБ, N18K9M5T, углубление зерен, производительность процесса шлифования, износ

Предметом дослідження є процес шліфування мартенситно-старіючої сталі, а саме N18K9M5T. Об'єктом дослідження - величина поглиблення зерен шліфувального круга з КНБ в метал, обсяг видаляемого металу, питомо потужність, продуктивність процесу шліфування і питомо зношування шліфувального круга.

Ключові слова: КНБ, N18K9M5T, поглиблення зерен, продуктивність процесу шліфування, зношування

The subject of the study is the process of grinding martensitic-aging steel, namely N18K9M5T. The object of the study is the value of the deepening of the grinding wheel grains from KBN into metal, the volume of the metal being removed, the specific power, the grinding process and the specific wear of the grinding wheel.

Keywords: KNB, N18K9M5T, deepening of grains, productivity of grinding process, wear

Вступление

Мартенситно–старееющие стали – это высокопрочные стали с малым содержанием углерода ($C < 0,03\%$). Вместо углерода в этих сталях используется никель или хром, дополнительно лигируется кобальтом, молибденом и т.д. Эти элементы обуславливают дисперсионное твердение мартенситной, Fe – Ni (или Fe – Cr – Ni), матрицы при старении.

Несмотря на свои положительные качества сталь довольно мало распространена в машиностроении, так как одним из главных недостатком является отсутствие нормативных материалов (баз) обеспечивающих качество поверхностного слоя. В случае превышения температурного режима интерметаллидные частички растворяется в механической смеси, что ведет к значительной потере качества стали.

Изложение основного материала

1. Средняя величина углубления зерен из КНБ в металл

Средняя величина проникновения режущего зерна в металл, является фактором определяющий степень силовой нагрузки на зерно. А от этого

зависят такие параметры как сечение стружки и шероховатость поверхности. Теоретических расчетов по определению данного параметра для такого типа кругов нет, а полученные практические результаты нуждаются в уточнении. Так как единственными основными показателями являются характеристики шлифовального круга и режимы обработки.

Увеличение скорости вращения детали увеличивает рост внедрения зерна в металл, при этом силы резания значительно возрастают.

С увеличением глубины резания и поперечной подачи, как и скорость вращения детали, увеличивает показатель углубления зерна в металл. Однако при увеличении скорости вращения шлифовального круга показатели сил уменьшаются. Данный феномен, связанный с тем, что на один и тот же припуск, участвующих зерен в обработке металл значительно больше чем при малых оборотах шлифовального круга.

Математическая обработка данных измерений позволила получить зависимость углубления зерна в металл в виде:

$$h = \frac{37.569 v_d^{0.68} t^{0.46} s^{0.12} r^{0.57}}{v_{кр}^{0.16}} \quad (1)$$

где v_d – скорость вращения детали, м/с; t – глубина резания, мм; s – поперечная подача, мм/ход стола; $v_{кр}$ – скорость вращения шлифовального круга, м/с; r – радиус закругления зерна, мкм.

Проведенные исследования показали, что в диапазоне варьируемых режимов величина углубления зерен в металл находится в пределах от десятых долей до 5...6 мкм. Исследование выявило также некоторую незначительную зависимость величины углубления зерна в металл от свойств шлифуемого материала. Это обстоятельство можно объяснить тем, что при обработке различных материалов силы резания отличаются незначительно, например, для закаленной стали $C_p = 1,56 \cdot 10^6$; для незакаленной стали $C_p = 1,48 \cdot 10^6$, т.е. отличаются на 10...12% [1, 2, 5]. Это обстоятельство установлено также и в настоящей работе.

Исследования показали, что имеется тенденция к повышению средней величины углубления зерна КНБ в металл при шлифовании таких теплоустойчивых материалов, как сталь 18ХН10Т и мартенситно-старееющая сталь Н18К9М5Т. При шлифовании их величина углубления на 10...15% выше, чем при шлифовании обычных конструкционных сталей.

2. Объем металла, удаляемый зерном из КНБ

Объем металла, удаляемый каждым работающим зерном круга, оказывает большое влияние на производительность обработки.

До настоящего времени определение этой величины для зерна работающего круга приведено не совсем точно, так как наиболее достоверные эксперименты заключались во взвешивании удаляемых микростружек. В этих исследованиях точность снижало то обстоятельство, что горячая микростружка после отделения от металла частично сгорала и частично окислялась.

Определение объема металла по следам, оставленным зернами из КНБ на поверхности металла также нельзя признать точным, так как при снятии микростружек образуются навалы, и следы от зерен накладываются друг на друга.

В работе определялась средняя величина углубления зерна в металл, радиус закругления зерен непосредственно в работающем круге, длина пути контакта круга с деталью и удаляемый объем металла зерном.

Средняя величина объема металла, удаляемого каждым зерном КНБ в работающем круге, рассчитывалась по формуле:

$$V = 2\pi \cdot r \cdot h \cdot L, \quad (2)$$

где, h – углубления зерна в металл, мкм;
 L – длина пути зерна в металле, мм.

Проведенное исследование позволило установить, что средний объем металла, удаляемый зерном круга из КНБ, зависит от режимов обработки и характеристик круга и может быть представлен в следующем виде:

$$V = \frac{0.47 v_d^{0.68} t^{0.96} s^{0.12} r^{1.57}}{v_{кр}^{0.16}}. \quad (3)$$

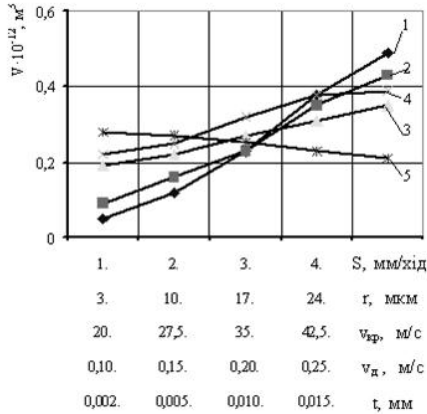
При увеличении глубины резания и скорости детали происходит значительное увеличение объема металла, удаляемого зерном. Происходит это потому, что увеличение этих факторов приводит к возрастанию площади контакта зерна с металлом.

Влияние поперечной подачи незначительно ввиду того, что она оказывает малое влияние на среднюю величину углубления зерна в металл, и, следовательно, на площадь контакта зерна с металлом.

Увеличение скорости вращения шлифовального круга приводит к уменьшению объема металла, удаляемого зерном, что объясняется уменьшением сечения стружки.

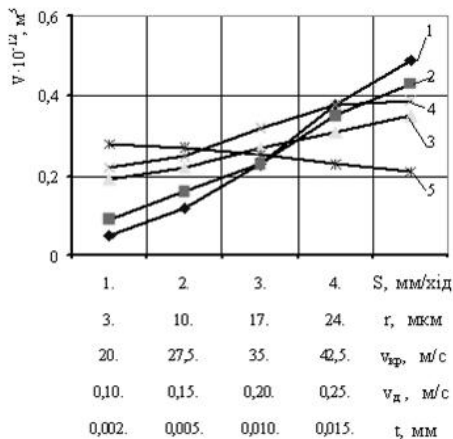
В результате проведенных исследований получены зависимости объема удаляемого зерном металла от режимов обработки и характеристик кругов, представленные на рис. 2.

Как видно, найбільше впливє оказує рєдїє зєкруглєнїє КНБ зєрнє. Это зв'язано з тем, що при увєлїчєннї рєдїє зєкруглєнїє рєзко вєзрєстє плєщєдь контєктє зєрнє з мєтєллом.



Рисунєк 1 – Зєвїсїмєсть вєлїчїнї углублєнїє зєрнє в мєтєллє от рєжїмєв обрєбєткї:

$$1 - h = f(r); 2 - h = f(t); 3 - h = f(v_d); 4 - h = f(s); 5 - h = f(v_{кр})$$



Рисунєк 2 – Зєвїсїмєсть об'ємє мєтєллє, удєлєнє зєрнєм з КНБ зєрнє з СїК:

$$1 - V = f(r); 2 - V = f(t); 3 - V = f(v_{кр}); 4 - V = f(v_d); 5 - V = f(s)$$

3. Удельная мощность резания

Мощность резания, затрачиваемая на единицу объема удаляемого металла, представляет собой показатель, связывающий энергетику процесса шлифования с производительностью. Определения данного показателя определялись двумя способами:

1. Суммарная мощность резания к объему удаленного металла за один проход.
2. Отношения мощности резания затрачиваемой зерном на удаления собственного объема стружки.

Незначительное расхождение между полученными данными этих двух способов, дают возможность заключить, что мощность также в значительной степени зависит от режимов обработки и свойств шлифовального круга.

По результатам проведенного исследования можно выразить определения мощности в виде следующей формулы:

$$N = \frac{0.557 v_{\text{кр}}^{0.91} \cdot \sigma^{0.75}}{v_d^{0.67} t^{1.13} s^{0.14} r^{1.43} \varepsilon^{1.16}} \quad (4)$$

где σ – прочность круга, МПа; ε – коэффициент тепловой активности, дж/(м² °С с^{0.5}).

Как видно из приведенной зависимости, наибольшее влияние на удельную мощность оказывает зернистость шлифовального круга, скорость вращения круга и глубина резания.

При увеличении зернистости круга увеличивается объем металла, причем в большей степени, чем возрастает мощность резания [6]. При увеличении скорости вращения круга мощность резания растет в большей степени, чем величина объема удаляемого металла, что приводит к увеличению удельной мощности.

При увеличении глубины резания величина объема удаляемого металла растет в большей степени, чем мощность, что и приводит к снижению удельной мощности. Такое же явление наблюдается при увеличении скорости детали и поперечной подачи (рис. 3).

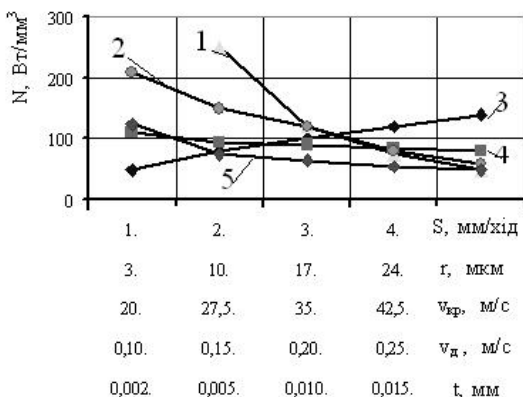


Рисунок 3 – Зависимость удельной мощности от факторов обработки:

1 – $N = f(r)$; 2 – $N = f(t)$; 3 – $N = f(v_{кр})$; 4 – $N = f(v_{д})$; 5 – $N = f(s)$

4. Производительность процесса шлифования

Производительность при шлифовании кругами из КНБ измеряется объемом металла, удаляемого в секунду. Эта величина в определенной степени характеризует режущую способность шлифовального круга. Как показали исследования, данная величина зависит от режимов обработки и характеристик кругов. Увеличение таких режимов обработки как скорости детали, поперечной подачи, глубины резания и скорости вращения шлифовального круга, способствует увеличению производительности. Это объясняется тем, что при увеличении параметров t и s происходит рост площади пятна контакта круга с деталью, в результате чего в съеме металла принимает участие большее число зерен.

При увеличении же скорости вращения круга через зону контакта его с деталью проходит большее число зерен в единицу времени. Увеличение скорости детали приводит к возрастанию сечения стружки, снимаемой зерном, что и обеспечивает рост производительности обработки. Так, производительность при шлифовании кругами на керамической связке оказалась на 10...15% выше производительности кругов на бакелитовой связке.

Сравнение производительности кругов из КНБ и абразива показывает, что КНБ круги обеспечивают рост производительности обработки на 30...35 %, что объясняется высокими режущими свойствами КНБ зерен.

Исследование производительности на различных материалах показало, что при шлифовании закаленных сталей У8, стали 45, цементированной и закаленной стали 12Х2Н3А производительность практически одинакова.

Производительность при шлифовании стали H18K9M5T на 15...25 % ниже. Это связано с различной степенью затуплением зерен из КНБ при шлифовании этих материалов.

Зависимость производительности шлифования кругами из КНБ от факторов обработки показана на рис. 4.

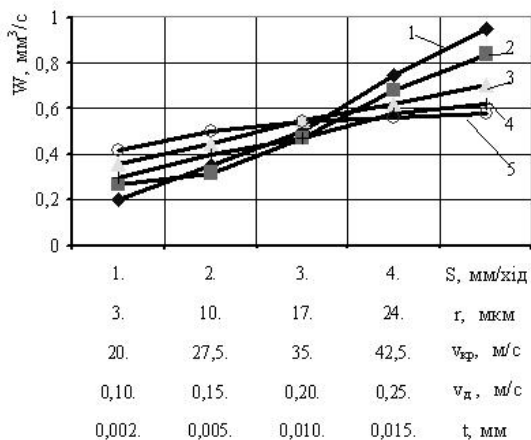


Рисунок 4 – Зависимость производительности шлифования кругами из КНБ от факторов обработки:

$$1 - W = f(r), 2 - W = f(t), 3 - W = f(v_d), 4 - W = f(v_{кр}), 5 - W = f(S)$$

5. Удельный износ шлифовального круга

Удельный износ кругов из КНБ, измеряемый в мг израсходованного КНБ на один грамм снятого металла, связывает расход КНБ с производительностью обработки.

Исследования, проведенные в работе, показали, что в зависимости от факторов обработки эта величина может изменяться от 0,186 до 1,36 мг/г.

Увеличение таких параметров процесса, как $v_{кр}$, v_d , t , s приводит к росту удельного износа, ввиду того, что в этих случаях возрастает температурно-силовая нагрузка на зерна КНБ. Уменьшение удельного износа при росте зернистости кругов из КНБ может быть объяснено снижением напряженности процесса резания, как это указывалось.

Рост скорости круга приводит к уменьшению удельного износа ввиду уменьшения сечения стружки, снимаемой КНБ зернами. Значительное влияние на удельный износ оказывают свойства шлифуемого металла. Так, если удельный износ при шлифовании стали 12Х2Н3А принять за 1, то износ для

стали 45 выразится величиной 1,43, а износ при шлифовании мартенситно-старееющей стали Н18К9М5Т и стали 08Х18Н9Т выразится соответственно величинами 2,7 и 1,28.

Исследования показали, что износ круга происходит в основном за счет вырыва зерен из связки при их затуплении.

Данное обстоятельство подтверждается исследованиями рабочей поверхности круга на микроскопе и термоэлектрическими экспериментами (рис. 5 и рис. 6).

Установлено, что по мере шлифования в поверхность круга внедряются частицы шлифуемого металла, что хорошо видно на фотографиях рабочей поверхности круга (рис. 6) после 100 проходов.

Это приводит к увеличению нагрузок, действующих на зерна, что приводит к их затуплению, а следовательно, к дальнейшему увеличению нагрузки.

При термоэлектрических исследованиях видно, что по мере работы круга импульсы мгновенной температуры увеличиваются, что связано с затуплением зерен (рис. 5).

После правки круга величина импульса возвращается к исходной. Если работать до полной потери кругом режущей способности, то импульсы мгновенной температуры постепенно исчезают при повышении величины контактной температуры. Это свидетельствует о том, что рабочая поверхность круга в результате затуплении зерен засаливается, превращается в сплошную, и круг не столько режет, сколько трется о поверхность (рис. 5 и рис. 6).

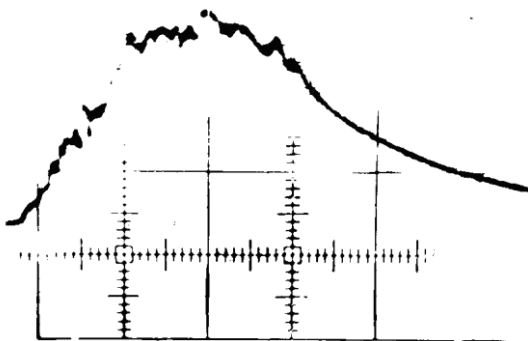


Рисунок 5 – Характерная оциллограмма теплового импульса от затупившегося и засаленного круга

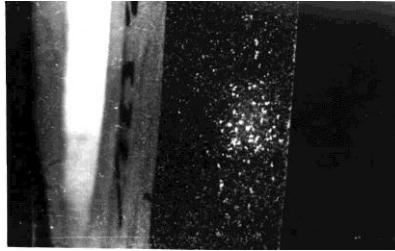


Рисунок 6 – Фотография поверхности круга из КНБ после 100 проходов, применялось на стали H18K9M5T, при шлифовании на режимах: $v_{кр} = 35$ м/с, $v_d = 0,25$ м/с, $t = 0,015$ мм, $s = 5$ мм/ход

Установлено, что удельный износ кругов из КНБ на бакелитовых связках на 25...30% выше, чем износ кругов на керамических связках, что объясняется более высокой прочностью керамической связки.

Зависимость величины удельного износа кругов из КНБ от факторов обработки имеет следующий вид:

$$q = \frac{v_d^{0,07} \cdot t^{0,44} \cdot s^{0,16} \cdot \sigma^{0,75}}{v_{кр}^{0,33} \cdot r^{0,13}} \quad (5)$$

На рис. 7 и 8 приведены зависимости удельного износа от факторов обработки.

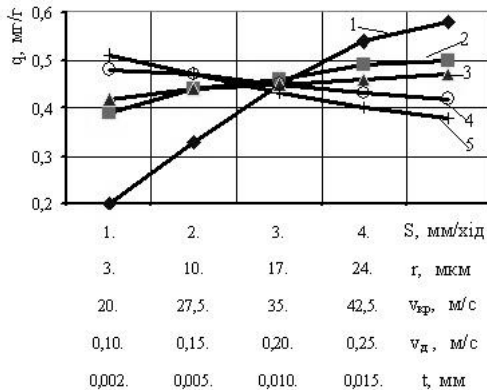


Рисунок 7 – Зависимость удельного износа кругов из КНБ от режимов шлифования:

$$1 - q = f(t), 2 - q = f(s), 3 - q = f(r), 4 - q = f(v_{кр}), 5 - q = f(v_d)$$

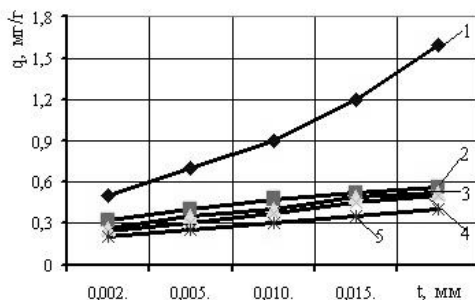


Рисунок 8 – Залежність удельного износа кругів из КНБ от глубины шліфування, свойств обрабатываемого материала и характеристик кругов: 1 – H18K9M5T, L12C1K; 2 – 12X2H3A, L5C1K; 3 – 12X2H3A, L12C1K; 4 – 12X2H3A, L20C1K; 5 – сталь 45, L12C1K

Выводы:

Проведенные исследования показали, что:

1. Величина углубления режущего зерна в металл по большей степени зависит от режимов шліфування, чем от характеристик шліфуемого материала.

2. На объем металла удаляемым зерном довольно сильно влияют два фактора: 1) размер режущего зерна, так как от него зависит общий объем удаляемого металла, и, 2) скорость вращения шліфовального круга, хотя это прямо пропорционально количеству снимаемого материала за один проход, однако значительно увеличивает количество проходов за определенный отрезок времени.

3. Удельная мощность резанья большей степени зависит от скорости вращения шліфовального круга, чем от других параметров шліфування.

4. Производительность процесса шліфування мартенситно–старееющих сталей значительно ниже, чем при шліфуванні обычных конструкционных сталей. Это связано с затуплением и вырывом зерен из связки.

5. Удельный износ зависит от подачи шліфовального круга, а от остальных режимов шліфування зависит мало.

Список использованных источников: 1. *Редько С.Г.* Процессы теплообразования при шліфуванні металлов. Изд. Саратовского университета. Саратов, 1962. 2. *Резников А.Н.* Теплофизика резания. М., "Машиностроение", 1969. 3. *Маслов Е.Н.* Теория шліфування материалов. М.: Машиностроение, 1984. 4. *Федотов А.К.* Физическое материаловедение: в 3-х томах. Минск: Выш. шк., 2012. 5. *Биронт В.С.* Теория термической обработки. СФУ: ИЦМиЗ. Красноярск, 2007. 6. *Чумаченко Т.В., Лебедев В.Г.* Фактическое расстояние между режущими зернами в эльборовом круге № 2, Проблемы техники, 2009.

Bibliography (transliterated): 1. *Red'ko S.G.* Processy teploobrazovanija pri shlifovanii metallov. Izd. Saratovskogo universiteta. Saratov, 1962. 2. *Reznikov A.N.* Teplofizika rezanija. M., "Mashinostroenie", 1969. 3. *Maslov E.N.* Teorija shlifovanija materialov. M.,: Mashinostroenie, 1984. 4. *Fedotov A.K.* Fizicheskoe materialovedenie: v 3-h tomah. Minsk: Vysh. shk., 2012. 5. *Biront V.S.* Teorija termicheskoj obrabotki. SFU: ICMiZ. Krasnojarsk, 2007. 6. *Chumachenko T. V. Lebedev V.G.* Fakticheskoe rasstojanie mezhdz rezhushhimi zemami v jel'borovom kruge № 2, Problemi tehniki, 2009.