

П.Г. Матюха, В.В. Габитов (г. Донецк)

ВЛИЯНИЕ СПОСОБА ПРАВКИ И ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА РАБОЧУЮ ПОВЕРХНОСТЬ КУБОНИТОВОГО КРУГА НА УДЕЛЬНУЮ СЕБЕСТОИМОСТЬ ШЛИФОВАНИЯ СТАЛИ Р6М5Ф3

С использованием критерия минимальной удельной себестоимости выполнено сравнение способов правки и процесса шлифования стали Р6М5Ф3 с электроэрозионными воздействиями на рабочую поверхность кубонитового круга на металлической связке. Установлено, что электроэрозионный способ правки обеспечивает на порядок меньшую удельную себестоимость шлифования по сравнению с абразивным способом. Электроэрозионные воздействия на рабочую поверхность круга в процессе шлифования увеличивают удельную себестоимость обработки, в связи с чем, шлифование целесообразно выполнять с периодической правкой электроэрозионным способом в процессе обработки.

Ключевые слова: *удельная себестоимость шлифования, ванадиевая быстрорежущая сталь, кубонитовые круги, электроэрозионные воздействия.*

Себестоимость обработки оказывает влияние на стоимость изделия в целом и в определенной мере определяет конкурентоспособность продукции в условиях рыночных отношений. В связи с этим, снижение себестоимости изготовления является одной из приоритетных задач машиностроительного производства. В особенности это относится к изделиям из труднообрабатываемых материалов, в которых доля затрат на обработку является существенной.

В настоящее время высокопроизводительная обработка ванадиевых быстрорежущих сталей осуществляется с помощью алмазного шлифования кругами на металлической связке, заправленными электроэрозионным методом, с поддержанием режущей способности рабочей поверхности круга в процессе обработки электроэрозионными воздействиями [1, 2, 3]. Известно также шлифование этих сталей эльборовыми кругами на металлической связке, заправленным абразивным методом [4, 5]. Вместе с тем, сведений о влиянии на удельную себестоимость способа правки и электроэрозионных воздействий (ЭЭВ) на рабочую поверхность круга (РПК) при шлифовании ванадиевых быстрорежущих сталей кругами из кубонита в литературе нет.

Целью данной работы является оценка влияния на удельную себестоимость обработки способа правки кубонитовых кругов на металлической связке и электроэрозионных воздействий на РПК при шлифовании быстрорежущей стали Р6М5Ф3.

Сравнительную оценку процессов шлифования кругом, заправленным различными способами, проведем по удельной себестоимости обработки. Она представляет собой отношение стоимости всех затрат на процесс шлифования к

объему удаленного материала за время обработки и зависит от текущей лимитированной режущей способности рабочей поверхности круга.

Текущая лимитированная режущая способность шлифовального круга представляет собой объем сошлифованного материала по упругой схеме в единицу времени при усилии поджима образца к РПК, найденном по лимитированному техническому ограничению на режим обработки.

Текущую лимитированную режущую способность шлифовального круга 1А1 250×76×15×5 КВ 100/80 4 М2-01 определяли при шлифовании быстрорежущей стали Р6М5Ф3 по упругой схеме на станке модели ЗГ71, модернизированном для электроэрозионной правки и электроэрозионных воздействий на РПК в процессе шлифования.

Подготовку круга к шлифованию осуществляли правкой двумя способами – абразивным и электроэрозионным методами.

Абразивным способом круг правили по схеме плоского многопроходного шлифования [5] до полного обновления рабочей поверхности круга. В качестве правящего инструмента использовали электрокорундовый круг марки 24А 40 С2 К5. Режимы правки: скорость круга $V_k = 35\text{ м/с}$; продольная скорость стола $V_{cm} = 6\text{ м/мин}$; глубина шлифования $t = 0,05\text{ мм}$. При этом на 1 мм^3 удаленного рабочего слоя кубонитового круга расходовалось до 30 мм^3 абразивного материала.

При правке круга электроэрозионным способом в качестве источника технологического тока использовали блок питания ИТТ-35. Правку РПК осуществляли шлифованием чугунного электрода на режимах: механических – $V_k = 35\text{ м/с}$, $V_{cm} = 6\text{ м/мин}$, величина поперечной подачи $S_n = 4\text{ мм/ход}$, глубина шлифования $t = 0,005\text{ мм}$; электрических – средняя сила тока электроэрозионных воздействий $I_{cp} = 10\text{ А}$, напряжение холостого хода $U_{xx} = 60\text{ В}$.

Охлаждение при правке и последующем шлифовании осуществляли 0,3%-ным водным раствором кальцинированной соды.

Плоское врезное шлифование по упругой схеме образца размерами $100 \times 14\text{ мм}$ выполняли на режимах: $V_k = 35\text{ м/с}$, $V_{cm} = 6\text{ м/мин}$. Усилие поджима образца к РПК составляло $P_n = 80\text{ Н}$, найденное по лимитированному техническому ограничению – прочности кубонитовых зерен. Поджим образца к РПК осуществляли при помощи специального устройства, установленного на магнитной плите станка, позволяющего реализовать шлифование по упругой схеме [3].

Определение количества сошлифованного материала и расхода рабочего слоя круга определялось по известной методике [6], через 1, 5, 10, 15, 30, 45 и 60 минут, при этом визуально контролировали состояние рабочей поверхности круга в одних и тех же точках РПК с помощью микроскопа МИР-2, при увеличении в 105 раз. Участки РПК фотографировали цифровой фотокамерой.

Используя данные экспериментов, были построены графики зависимостей текущей лимитированной режущей способности круга от времени шлифования $Q(\tau)$, кругом, заправленным абразивным и электроэрозионным способами (рис. 1), а также найдены уравнения регрессии, описывающие эти зависимости в виде:

$$Q(\tau) = Q_{уст} + \Delta Q \cdot \exp(\beta_Q \cdot \tau) \quad (1)$$

где Q , $Q_{исх}$, $Q_{уст}$ – соответственно текущая, исходная, установившаяся режущая способность круга, мм³/мин;

$\Delta Q = Q_{исх} - Q_{уст}$ – амплитуда изменения режущей способности круга, мм³/мин;

β_Q – эмпирический коэффициент, 1/мин;

τ – продолжительность шлифования, мин.

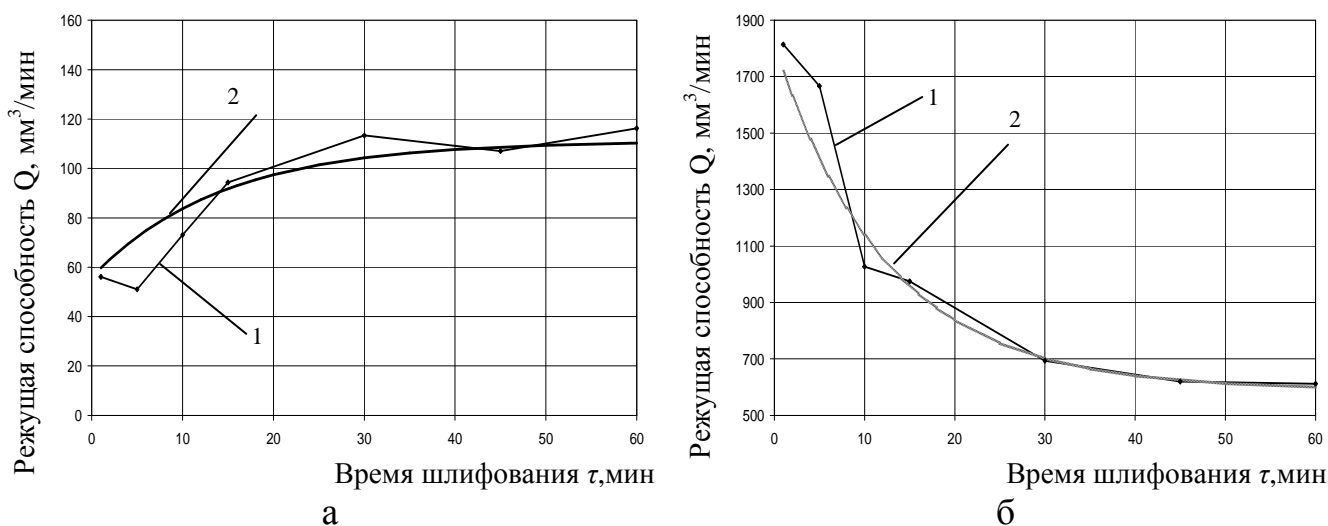


Рис. 1. Изменение текущей лимитированной режущей способности круга 1А1 250×76×15×5 КВ 100/80 4 М2-01 при шлифовании стали Р6М5Ф3 кругом, заправленным абразивным (а) и электроэрозионным (б) способами, где: 1 – кривая, построенная по экспериментальным данным; 2 – регрессионная кривая

Установившуюся режущую способность круга $Q_{уст}$ и исходную $Q_{исх}$ определяли по данным экспериментов. За исходную режущую способность $Q_{исх}$ принимали режущую способность на первой минуте шлифования. За установившуюся принимали режущую способность круга после 30 минут обработки. Уравнение $Q = f(\tau)$, полученное методом наименьших квадратов, имеет вид:

- при шлифовании кругом, заправленным абразивным способом

$$Q(\tau) = 111 - 55 \cdot \exp(-0,07 \cdot \tau); \quad (2)$$

- при шлифовании кругом, заправленным электроэрозионным способом

$$Q(\tau) = 590 + 1223 \cdot \exp(-0,08 \cdot \tau). \quad (3)$$

Одновременно с измерением количества сошлифованного материала определяли расход кубонита, который описывается зависимостью, аналогичной (1):

$$M(\tau) = M_{уст} + \Delta M \cdot \exp(\beta_Q \cdot \tau). \quad (4)$$

Для круга, заправленного абразивным способом $M(\tau)$ описывается формулой:

$$M(\tau) = 48 - 48 \cdot \exp(-0,05 \cdot \tau), \quad (5)$$

а электроэрозионным способом –

$$M(\tau) = 3,6 + 363 \cdot \exp(-0,66 \cdot \tau). \quad (6)$$

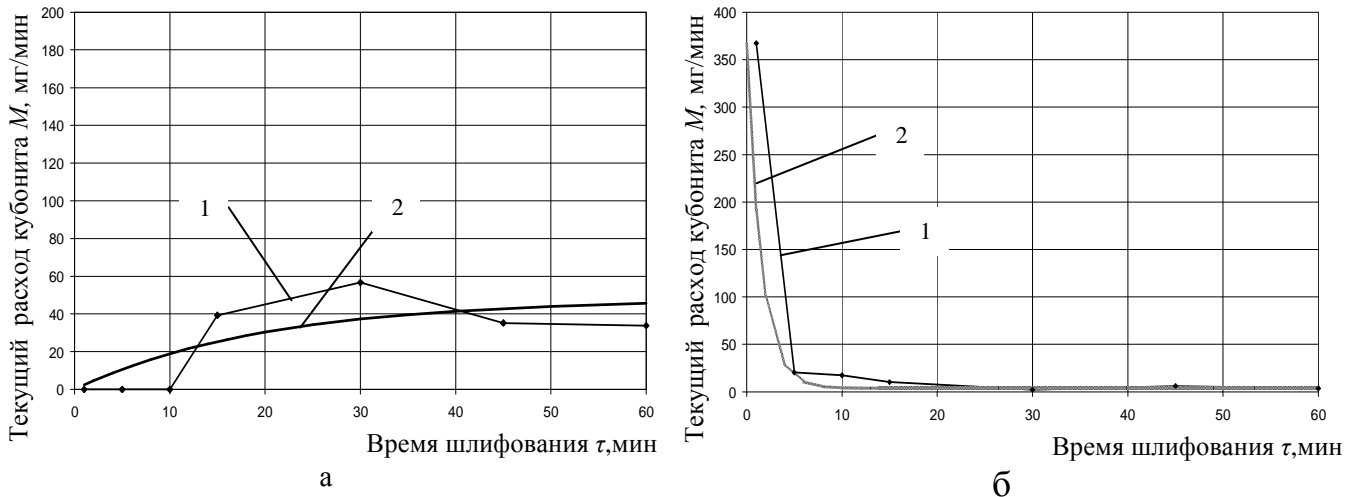


Рис. 2. Изменение текущего лимитированного расхода кубонита при шлифовании кругом 1А1 250×76×15×5 КВ 100/80 4 М2-01 стали Р6М5Ф3 кругом, заправленным абразивным (а) и электроэрозионным (б) способами, где: 1 - кривая, построенная по экспериментальным данным; 2 – регрессионная кривая

Проанализируем полученные зависимости. Для круга, заправленного абразивным способом, в течении 1-5 минут текущая лимитированная режущая способность не изменяется, после чего в период 5-30 минут начинает возрастать. После 30 минут и до конца эксперимента текущая режущая способность круга практически не изменяется. При этом текущий расход кубонита на протяжении первых 10 минут обработки постояен, после чего начинает возрастать. В период стабилизации текущей лимитированной режущей способности (30-60 мин) стабилизируется и расход кубонита.

Увеличение текущей лимитированной режущей способности круга (см. рис. 1, а) при шлифовании кругом, заправленным абразивным методом, объясняется следующим. В период первых 10 минут шлифования наблюдается засаливание межзеренного пространства РПК продуктами шлифования, причем величина участков засаливания охватывает от 2-х до 5-ти зерен (рис. 3, а, б). При этом количество засаленных участков на РПК увеличивается. Износ круга не наблюдается. Засаленные участки на РПК при постоянной силе поджима образца к РПК увеличивают составляющую P_z за счет увеличения сил трения между обрабатываемой поверхностью образца и рабочей поверхностью круга, а вместе с тем, и температуру в зоне контакта. Увеличение температуры способствует разрушению образовавшихся пятен засаливания. Наблюдается процесс самозатачивания. Именно поэтому после 10 минут обработки режущая способность круга и расход кубонита возрастают. В период 30-60 минут наблюдается стабильное обновление РПК (рис. 3, в), что подтверждается практическим отсутствием изменения режущей способности круга и текущего расхода.

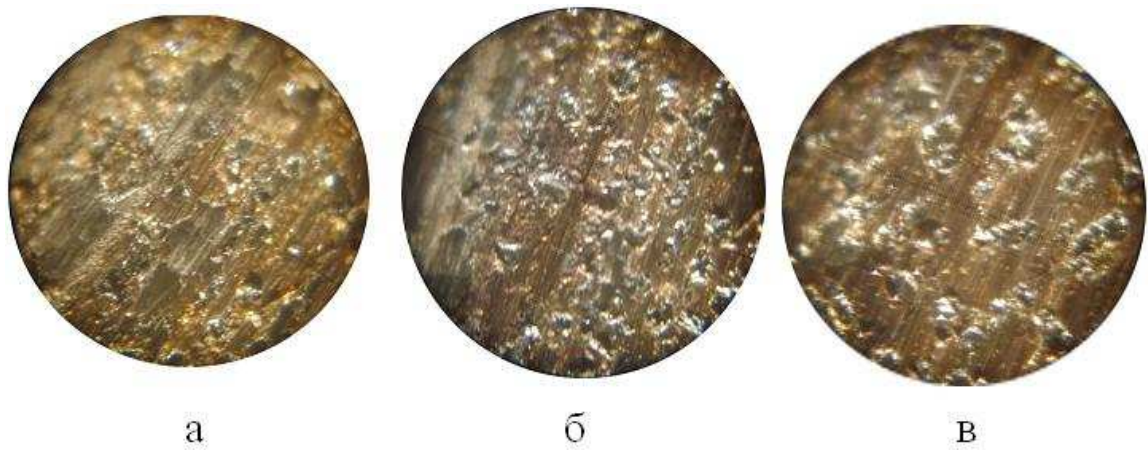


Рис. 3. Засаленные участки ($\times 105$) на рабочей поверхности круга КВ 100/80 4 М2-01 при шлифовании стали Р6М5Ф3 в течении: а – 1 минуты, б – 5 минут, в – 30 минут

Электроэрозионная правка круга обеспечивает существенно большую текущую лимитированную режущую способность как вначале обработки, так и в течение всего шлифования. Объясняется это тем, что в процессе электроэрозионной правки электрические разряды воздействуют только на связку, не разрушая зерен, как во время абразивной правки, благодаря чему зерна выступают из связки и участвуют в процессе резания с первых минут шлифования. С увеличением времени обработки режущая способность круга убывает.

Расход кубонита в первые 5 минут шлифования кругом, заправленным электроэрозионным способом, существенно выше, чем расход при шлифовании кругом, заправленным абразивным способом. Это обусловлено разрушением наиболее выступающих зерен. После приработки круга, расход кубонита стабилизируется и практически не изменяется в интервале 15-60 минут шлифования.

Влияние способа правки на удельную себестоимость шлифования стали Р6М5Ф3 кубонитовым кругом, заправленным абразивным и электроэрозионным методами, рассчитывались по методике [7], с использованием данных о постоянных и переменных затратах на процесс шлифования и количестве сошлифованного материала за 60 минут работы, найденного с использованием формул (2), (3), (5), (6) и нормативных данных на декабрь 2008 года (табл. 1).

Таблица 1. Удельная себестоимость 60 минут шлифования стали Р6М5Ф3 кругом КВ 100/80 4 М2-01 в зависимости от способа его правки

Способ правки круга	Удельная себестоимость 60 минут шлифования, грн/мм ³
Абразивный	$3,7 \cdot 10^{-3}$
Электроэрозионный	$2,88 \cdot 10^{-4}$

Как видно из таблицы, электроэрозионная правка обеспечивает уменьшение удельной себестоимости шлифования стали Р6М5Ф3 практически на порядок за счет обеспечения существенно большей режущей способности круга и меньшего расхода кубонита в устоявшемся периоде шлифования.

Известно [3], что при алмазном шлифовании стали Р6М5Ф3 с одновременными электроэрозионными воздействиями на РПК, существует оптимальная сила тока воздействий, обеспечивающая минимальную удельную себестоимость обработки. Рассмотрим влияние режимов электроэрозионных воздействий на рабочую поверхность кубонитового круга на удельную себестоимость шлифования с поддержанием его режущей способности.

Текущую лимитированную режущую способность круга и текущий расход кубонита определяли экспериментально аналогично описанной выше методике. Эксперименты проводили при тех же условиях и на тех же режимах, что и при исследовании влияния способа правки кубонитового круга на удельную себестоимость обработки.

Коэффициенты уравнения (1), описывающего изменение текущей лимитированной режущей способности кубонитового круга во времени шлифования приведены в таблице 2, а коэффициенты уравнения (4), описывающего изменение во времени текущего лимитированного расхода кубонита – в таблице 3.

Таблица 2. Коэффициенты, входящие в формулу (1), описывающей изменение текущей лимитированной режущей способности шлифовального круга КВ 100/80 4 М2-01

Средняя сила тока воздействий на РПК $I_{ср}$, А	Исходная режущая способность круга $Q_{исх}$, мм ³ /мин	Установившаяся режущая способность круга $Q_{уст}$, мм ³ /мин	Эмпирический коэффициент β_Q , 1/с
Без ЭЭВ	1813	590	-0,08
2	1775	770	-0,22
4	1611	435	-0,05

Таблица 3. Коэффициенты, входящие в формулу (4), описывающей изменение текущего лимитированного расхода кубонита при шлифовании кругом КВ 100/80 4 М2-01

Средняя сила тока воздействий на РПК $I_{ср}$, А	Исходная режущая способность круга $M_{исх}$, мм ³ /мин	Установившаяся режущая способность круга $M_{уст}$, мм ³ /мин	Эмпирический коэффициент β_Q , 1/с
Без ЭЭВ	367	3,6	-0,66
2	426	3	-0,66
4	268	15	-0,5

Изменение удельной себестоимости шлифования, рассчитанной по методике [7] при различной величине силы тока электроэрозионных воздействий на РПК, приведено в табл. 4.

Таблица 4. Зависимость удельной себестоимости шлифования стали Р6М5Ф3 кругом КВ 100/80 4 М2-01 от средней силы тока электроэрозионных воздействий на РПК

Сила тока ЭЭВ, А	Удельная себестоимость 60 минут шлифования, грн/мм ³
Без ЭЭВ	$2,88 \cdot 10^{-4}$
2	$2,93 \cdot 10^{-4}$
4	$3,81 \cdot 10^{-4}$

Как видно из табл. 4, минимальная удельная себестоимость шлифования стали Р6М5Ф3 кубонитовым кругом, заправленным электроэрозионным способом, обеспечивается при шлифовании без осуществления электроэрозионных воздействий на РПК. Это объясняется тем, что электроэрозионные воздействия приводят к увеличению расхода кубонита (табл. 3), а режущая способность круга при этом снижается (табл. 2) из-за увеличения разновысотности зерен, из-за чего количество сошлифованного материала уменьшается. Увеличение силы тока ЭЭВ на РПК интенсифицирует износ круга, снижая при этом количество сошлифованного материала.

Таким образом, шлифование быстрорежущих сталей кубонитовым кругом целесообразно выполнять с периодической правкой электроэрозионным способом параллельно с процессом обработки.

Выводы:

1. Удельная себестоимость шлифования кубонитовым кругом, заправленным электроэрозионным способом ($2,88 \cdot 10^{-4}$ грн/мм³) на порядок меньше удельной себестоимости шлифования кругом, заправленным абразивной правкой ($3,7 \cdot 10^{-3}$ грн/мм³).

2. Шлифование быстрорежущих сталей кубонитовым кругом целесообразно выполнять с периодической правкой электроэрозионным способом в процессе обработки.

Список литературы

1. Беззубенко Н.К. Процесс алмазно-искрового шлифования// Резание и инструмент. Респ. межвед. научно-техн. сб. – Харьков: Вища школа. – 1981. – Вып. 26. С. 39-42.
2. Матюха П.Г. Алмазне шліфування зі стабілізацією вихідних технологічних показників за допомогою керуючих дій на робочу поверхню круга./ Сучасні

- технології машинобудування: Збірник наукових статей/ за заг. ред. А.І. Грабченка. – Том 2 – Харків: НТУ «ХПІ», 2006. – с. 185–197.
3. Матюха П.Г. Високопродуктивне шліфування ванадієвих штампових та інструментальних сталей. – Донецьк: ДВНЗ „ДонНТУ”, 2008. – 222 с.
 4. Каменович А.С., Попов С.А. Применение абразивных инструментов из эльбора в машиностроении. М.: НИИМАШ, 1972 – 71 с.
 5. Применение инструмента из эльбора на шлифовальных и заточных станках. Руководящие материалы ЭНИМСа и ВНИИАШа. М.: НИИМАШ, 1970 – 48с.
 6. Матюха П.Г., Полтавец В.В. Расчет количества удаленного материала при шлифовании по упругой схеме// прогрессивные технологии и системы в машиностроении. Международный сб. научных трудов: специальный выпуск. – Мат. V междунар. научно-техн. конф. „Машиностроение и техносфера на рубеже XXI века” в г. Севастополе 8-11 сентября 1998 г. В 3-х томах. Т. 2. - Донецк: ДонГТУ, 1998. – Вып. 6. – С. 206-207.
 7. Полтавец В.В. Себестоимость шлифования с управляющими воздействиями на РПК // Прогрессивные технологии и системы машиностроения: Международный сб. научн. трудов. – Донецк: ДонГТУ, 2000. – Вып. 10. – С. 202-207.