

Исследование процессов обработки

УДК 621.923

П. Г. Матюха, В. В. Габитов (г. Донецк)

Удельная себестоимость шлифования стали Р6М5Ф3 в зависимости от способа правки и электроэрозионных воздействий на рабочую поверхность кубонитового круга

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. 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 и 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 (ЭЭВ) [1—3]. Известно также шлифование этих сталей эльборовыми кругами на металлической связке, заправленными абразивным методом [4, 5]. Вместе с тем, сведений о влиянии на удельную себестоимость способа правки и ЭЭВ на рабочую поверхность круга (РПК) при шлифовании ванадиевых быстрорежущих сталей кругами из кубонита в литературе нет.

© П. Г. МАТЮХА, В. В. ГАБИТОВ, 2009

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 мод. 3Г71, 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 РПК. В качестве правящего инструмента использовали электрокорундовый круг марки 24А 40 С2 К5. Режимы правки: скорость круга $v_k = 35$ м/с; продольная скорость стола $v_{ст} = 6$ м/мин; глубина шлифования $t = 0,05$ мм. При этом на 1 мм^3 удаленного рабочего слоя кубонитового круга было израсходовано 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 — $v_k = 35$ м/с, $v_{ст} = 6$ м/мин, величина поперечной подачи $S_n = 4$ мм/ход, глубина шлифования $t = 0,005$ мм; электрических — средняя сила тока электроэрозионных воздействий $I_{ср} = 10$ А, напряжение холостого хода $U_{х.х} = 60$ В.

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

Плоское врезное шлифование по упругой схеме образца размерами 100×14 мм выполняли на режимах: $v_k = 35$ м/с, $v_{ст} = 6$ м/мин. Усилие поджима образца к РПК составляло $P_n = 80$ 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 определяли по известной методике [6], через 1, 5, 10, 15, 30, 45 и 60 мин, 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.

С использованием данных экспериментов были построены графики зависимости 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

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

где $\Delta Q = Q_{исх} - Q_{уст}$ — амплитуда изменения режущей способности круга, $\text{мм}^3/\text{мин}$; $Q_{исх}$ и $Q_{уст}$ — соответственно исходная и установившаяся режущая способность круга, $\text{мм}^3/\text{мин}$; β_Q — эмпирический коэффициент, мин^{-1} ; τ — продолжительность шлифования, мин.

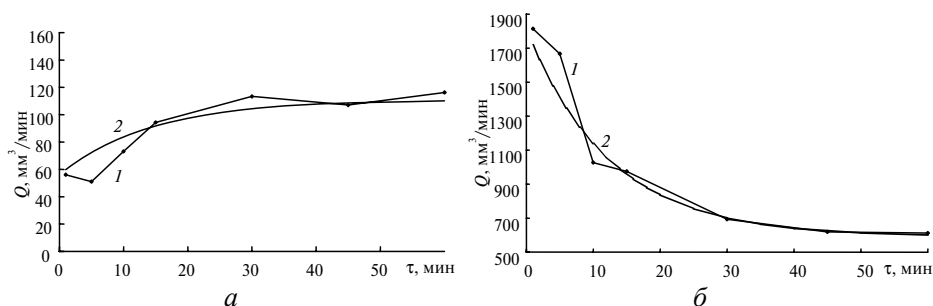


Рис. 1. Изменение текущей лимитированной режущей способности круга 1А1 250×76×15×5 КВ 100/80 4 М2-01, заправленного абразивным (а) и электроэрозионным (б) способами, при шлифовании стали Р6М5Ф3: 1 — кривая, построенная по экспериментальным данным; 2 — регрессионная кривая.

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

— при шлифовании кругом, заправленным абразивным способом

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

— при шлифовании кругом, заправленным электроэрозионным способом

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

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

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

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

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

а электроэрозионным способом —

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

Проанализируем полученные зависимости. Для круга, заправленного абразивным способом, в течение 1—5 мин текущая лимитированная режущая способность не изменяется, после чего в период 5—30 мин начинает возрастать. После 30 мин и до конца эксперимента текущая режущая способность

круга практически не изменяется. При этом текущий расход кубонита на протяжении первых 10 мин обработки постоянен, 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, *a*) при шлифовании кругом, заправленным абразивным методом, объясняется следующим. В период первых 10 мин шлифования наблюдается засаливание межзеренного пространства РПК продуктами шлифования, причем величина участков засаливания охватывает от двух до пяти зерен (рис. 2, *a, б*). При этом количество засаленных участков увеличивается. Износ круга не наблюдается. Засаленные участки 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 и происходит процесс самозатачивания. Именно поэтому после 10 мин обработки режущая способность круга и расход кубонита возрастают. В период 30—60 мин наблюдается стабильное обновление РПК (см. рис. 2, *в*), что подтверждается практическим отсутствием изменения режущей способности круга и текущего расхода кубонита.

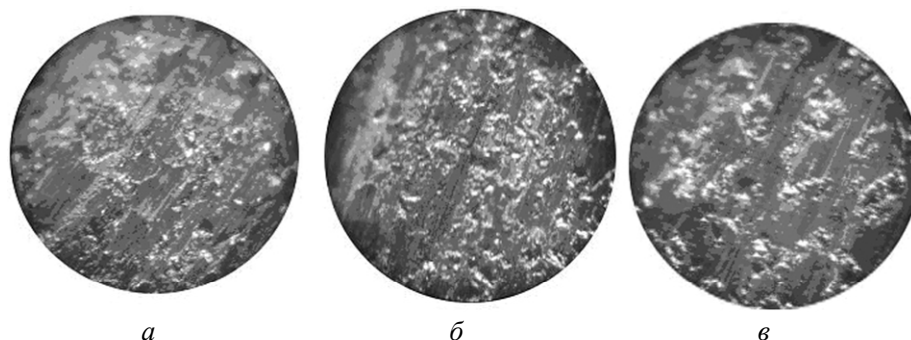


Рис. 2. Засаленные участки на рабочей поверхности круга КВ 100/80 4 М2-01 при шлифовании стали Р6М5Ф3 в течение 1 (*a*), 5 (*б*), 30 (*в*) мин; $\times 105$.

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 мин шлифования кругом, заправленным электроэрозионным способом, существенно выше, чем расход при шлифовании кругом, заправленным абразивным способом (рис. 3). Это обусловлено разрушением наиболее выступающих зерен. После приработки круга расход кубонита стабилизируется и практически не изменяется в интервале 15—60 мин шлифования.

Влияние способа правки на удельную себестоимость шлифования стали Р6М5Ф3 кубонитовым кругом, заправленным абразивным и электроэрозионным методами, рассчитывали по методике [7] с использованием данных о постоянных и переменных затратах на процесс шлифования и количестве

сошлифованного материала за 60 мин работы, найденного с использованием формул (2), (3), (5), (6) и нормативных данных на декабрь 2008 года (табл. 1).

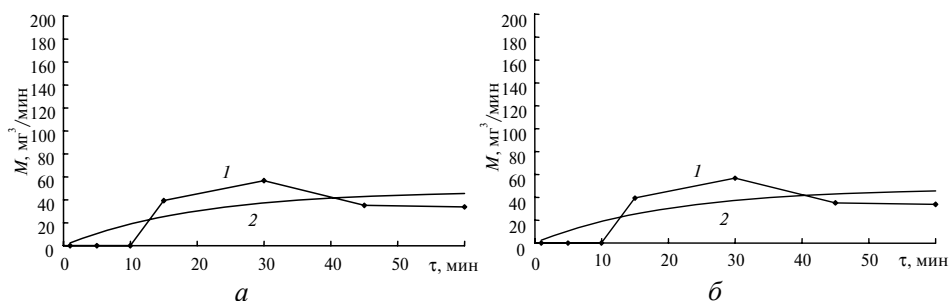


Рис. 3. Изменение текущего лимитированного расхода кубонита при шлифовании стали Р6М5Ф3 кругом 1А1 250×76×15×5 КВ 100/80 4 М2-01, заправленным абразивным (а) и электроэрозионным (б) способами: 1 — кривая, построенная по экспериментальным данным; 2 — регрессионная кривая.

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

Способ правки круга	Удельная себестоимость 60 мин 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) и (2) приведены в табл. 2 и 3.

Изменение удельной себестоимости шлифования, рассчитанной по методике [7] при различной величине силы тока электроэрозионных воздействий на РПК, приведено в табл. 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 (см. табл. 3), а режущая способность круга при этом снижается (см. табл. 2) из-за увеличения разности высотности зерен, из-за чего количество сошлифованного материала умень-

шается. Увеличение силы тока ЭЭВ на РПК интенсифицирует износ круга, снижая при этом количество сошлифованного материала.

Таблица 2. Расчет коэффициентов формулы (1) при шлифовании кругом КВ 100/80 4 М2-01

$I_{\text{ср}}, \text{А}$	$Q_{\text{исх}}, \text{мм}^3/\text{МИН}$	$Q_{\text{уст}}, \text{мм}^3/\text{МИН}$	$\beta_Q, \text{с}^{-1}$
Без ЭЭВ	1813	590	-0,08
2	1775	770	-0,22
4	1611	435	-0,05

Таблица 3. Расчет коэффициентов формулы (4) при шлифовании кругом КВ 100/80 4 М2-01

РПК $I_{\text{ср}}, \text{А}$	$M_{\text{исх}}, \text{мм}^3/\text{МИН}$	$M_{\text{уст}}, \text{мм}^3/\text{МИН}$	$\beta_Q, \text{с}^{-1}$
Без ЭЭВ	367	3,6	-0,66
2	426	3	-0,66
4	268	15	-0,5

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 мин шлифования, грн/мм ³
Без ЭЭВ	$2,88 \cdot 10^{-4}$
2	$2,93 \cdot 10^{-4}$
4	$3,81 \cdot 10^{-4}$

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

Выводы

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

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

1. *Беззубенко Н. К.* Процесс алмазно-искрового шлифования // Резание и инструмент: Респ. межвед. науч.-техн. сб. — 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: Зб. наук. ст. / За заг. ред. А. І. Грабченка. — Харків: НТУ «ХПІ», 2006. — Т. 2. — С. 185—197.
3. *Матюха П. Г.* Високопродуктивне шліфування ванадієвих штампових та інструментальних сталей. — Донецьк: ДВНЗ «ДонНТУ», 2008. — 222 с.
4. *Каменюк 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. — 48 с.

6. Матюха П. Г., Полтавец В. В. Расчет количества удаленного материала при шлифовании по упругой схеме // Прогрессивные технологии и системы в машиностроении. Международный сб. науч. тр.: Специальный выпуск. — Материалы V междунар. науч.-техн. конф. “Машиностроение и техносфера на рубеже XXI века”, г. Севастополь, 8—11 сент. 1998 г. — В 3 т. 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: Междунар. сб. науч. тр. — Донецк: ДонГТУ, 2000. — Вып. 10. — С. 202—207.

Донецкий национальный технический ун-т

Поступила 01.07.09