

радиусом закругления лезвия инструмента. Не будем останавливаться на отдельных математических выкладках, запишем окончательный результат:

$$h_3 = h_3^* + h_3 = \rho \left( \frac{\cos \frac{90 + \alpha - \gamma}{2}}{\sin \frac{90 - \alpha - \gamma}{2}} + \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \right) \quad (3)$$

В зависимости от геометрических параметров инструмента, которые для определения режима обработки материала останутся постоянными, соотношение между  $h_3$  и  $\rho$  будет иметь следующий вид:  $h_3 = a \cdot \rho$ . Для режущего инструмента с параметрами  $\alpha = 15^\circ$ ,  $\gamma = 10^\circ$   $h_3 = 1,39\rho$ , при  $\alpha = 25^\circ$ ,  $\gamma = 20^\circ$   $h_3 = 1,54\rho$ . Так как  $h_3$  можно измерить на любом микроскопе, то из выражения (3) легко найти радиус затупления, который играет важную роль в формировании качества и динамики работы инструмента.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Клубков А.А., Гиль В.И., Клубков А.П. Физические особенности и закономерности процесса резания древесины в области микростружек // Труды БГТУ. Лесная и деревообрабатывающая промышленность. 2000. Выпуск VIII, С. 183–187.
2. Грубэ А.Э. Дереворежущий инструмент. Изд. 3-е, перераб. и доп. Лесная промышленность, 1971. С. 344.

УДК 621.81

И.Л. Баршай, профессор БНТУ

#### **МОДЕЛИРОВАНИЕ ФОРМИРОВАНИЯ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТИ ДЕТАЛЕЙ ИЗ ПОРОШКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ ОБРАБОТКЕ ПОВЕРХНОСТНЫМ ПЛАСТИЧЕСКИМ ДЕФОРМИРОВАНИЕМ**

In article results of modeling of influence of processing to superficial plastic deformation on quality of a surface of details from powder materials are stated.

При развитии производства в современных экономических условиях необходимо учитывать высокую конкуренцию на мировых рынках и ограниченность сырьевой базы Республики Беларусь. Это предопределяет необходимость интенсивного поиска высокопроизводительных мало- и безотходных, ресурсосберегающих и экологически чистых технологий изготовления деталей машин.

Качество поверхности деталей оказывает существенное влияние на основные причины потери ими работоспособности: износ, коррозию, усталостное разрушение и др. В связи с этим технологические процессы, связанные с обеспечением качества поверхности деталей машин, составляют 10...20% общей трудоемкости их изготовления.

Всё большее распространение в промышленности получают детали из пористых, в том числе порошковых материалов (ПМ). Процессы, применяемые для формирования и упрочнения поверхности деталей из этих материалов, обладают существенными недостатками и в большинстве случаев не позволяют в сочетании с технологиями порошковой металлургии создать безотходное производство. Это, в свою очередь, снижает эффективность применения указанных материалов и технологий.

Обработка поверхностным пластическим деформированием (ППД), сочетающая эффект формирования и упрочнения поверхности, широко применяемая для деталей из

монолитных материалов (ММ), до настоящего времени не используется для ПМ. Причиной этого является недостаток информации о механизме формирования поверхности при ППД ПМ, а следовательно, и влияния на эксплуатационные характеристики деталей из этих материалов.

Исследование проводили на образцах из антифрикционной порошковой композиции железо – графит (ЖГр2: С = 2%, Fe = 98%). Обработку поверхностным пластическим деформированием осуществляли обкатыванием.

Образцы при обработке базировали на оправке, которую по центровым отверстиям устанавливали на станке. Обкатку осуществляли на токарно-винторезном станке мод. 16К20.

Качество поверхности оценивали следующими параметрами:  $R_a$  – среднее арифметическое отклонение неровностей профиля, мкм;  $t_{50}$  – относительная опорная длина профиля на уровне средней линии, %;  $H_\mu$  – микротвердость наклепанного слоя, МПа;  $\phi$  – поверхностная пористость, %.

Указанные параметры были выбраны как наиболее влияющие на износостойкость поверхности деталей [1].

Модели влияния технологических факторов обработки ППД на качество поверхности были выявлены на основе обработки результатов реализации центрального композиционного ротатбельного равномер-планирования (ЦКРУП) экспериментов.

Условия проведения эксперимента представлены в таблице.

Таблица

Уровни факторов $X_i$	Значения факторов		
	Усилие деформирования $P$ , кН ( $X_1$ )	Продольная подача $S$ , мм/об ( $X_2$ )	Скорость обкатывания $V$ , м/мин ( $X_3$ )
$-\alpha$	0,9	0,050	9
-1	1,2	0,100	16
0	1,6	0,175	26
+1	2,0	0,250	36
$+\alpha$	2,3	0,300	43

Полученные модели имеют вид

$$R_a = 2,1550 + 0,2507S - 0,1249V + 0,4676P + 0,0719SV + 0,2360SP - 0,0531VP - 0,1272S^2 - 0,5564V^2 + 0,0945P^2; \quad (1)$$

$$t_{50} = 48,0724 - 5,6151S - 2,7789V + 10,4412P + 1,5850SV + 5,2575SP - 1,1915VP - 2,8707S^2 - 12,4216V^2 + 2,1037P^2; \quad (2)$$

$$\phi = 5,0411 + 0,6061S - 0,2963V - 1,1076P + 0,5512VP - 1,3018V^2; \quad (3)$$

$$H_\mu = (2,689 - 0,0189S - 0,072V + 0,076P + 0,081SV + 0,011SP - 0,164VP + 0,007S^2 + 0,018V^2 + 0,059P^2) \times 10^3. \quad (4)$$

Одномерные сечения функций отклика полученных моделей для характеристик поверхностного слоя деталей из ПМ  $Ra$ ,  $t_{50}$  и  $H_{\mu}$ , определяющих в значительной степени износостойкость, представлены на рисунке.

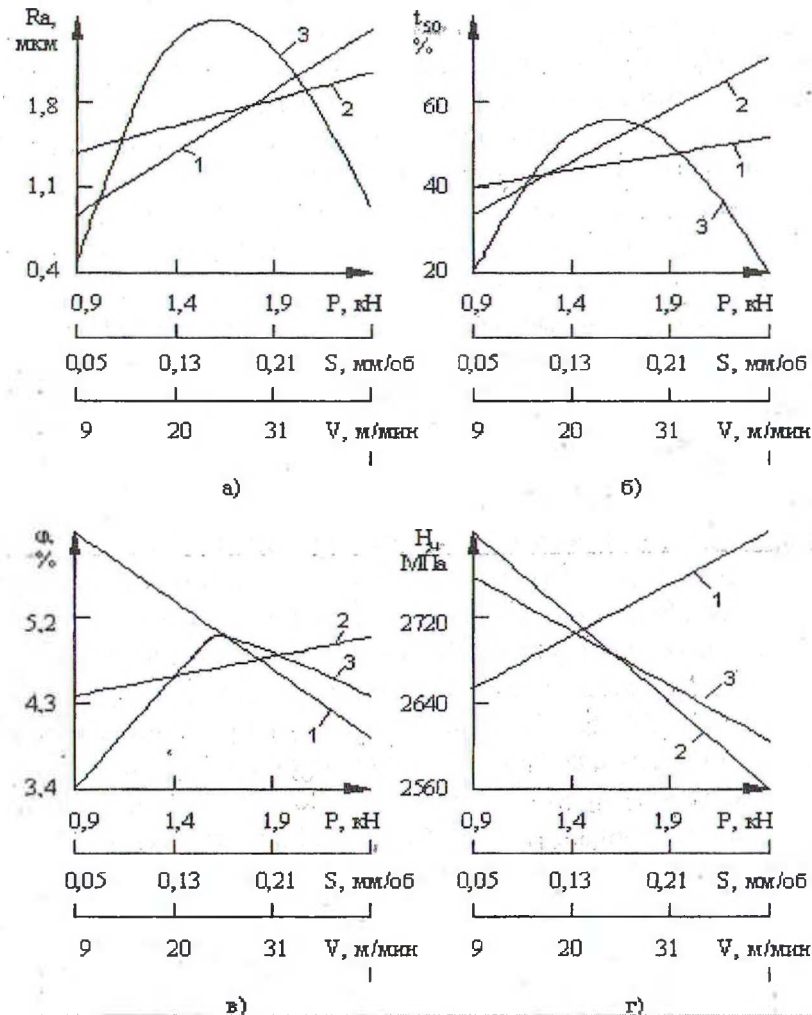


Рис. Зависимости шероховатости  $Ra$ , относительной опорной длины профиля  $t_{50}$ , поверхностной пористости  $\phi$ , микротвердости  $H_{\mu}$  от: 1 – усилия деформирования  $P$ ; 2 – продольной подачи  $S$ ; 3 – скорости обкатывания  $V$

Анализ полученных моделей с точки зрения влияния каждого из технологических факторов ППД на указанные характеристики качества поверхности свидетельствует о следующем.

Усилие деформирования  $P$ . Увеличение  $Ra$  и  $t_{50}$  (см. рис. а, б, зависимости 1) с ростом усилия деформирования вызвано тем, что при  $P \leq 1,7$  кН деформации подвергаются только вершины микровыступов исходного микрорельефа.

Повышение  $P$  способствует деформированию поверхностного слоя на глубину большую, чем размер микровыступов, в результате высота микронеровностей возрастает.

Увеличение усилия деформирования ведет к уменьшению поверхностной пористости ПМ за счет пластического течения материала в поры и уменьшения в связи с этим их геометрических параметров (см. рис. в). Установлено, что обкатывание ПМ

способствует стабилизации (сокращению рассеивания) размерных параметров остаточных (после обкатывания) пор. Исходная средняя площадь пор составляла  $\omega_{исх} \approx 30 \text{ мкм}^2$ . Средняя длина пор в исходном состоянии  $l_{исх} \approx 14 \dots 16 \text{ мкм}$ . После обкатывания средняя величина площади пор на поверхности детали сократилась до  $\omega_{обр} \approx 15 \dots 7 \text{ мкм}$ , а их длина – до  $l_{обр} \approx 4 \dots 5 \text{ мкм}$ .

Зависимость  $H_{\mu} = f(P)$  (см. рис. г, зависимость 1) в исследуемом интервале варьирования усилия деформирования при обработке ППД ПМ не имеет экстремального параболического характера. Перенаклепа поверхности не зафиксировано.

Продольная подача  $S$ . Изменение  $Ra$  и  $t_{50}$  с ростом подачи обусловлено снижением кратности приложения нагрузки – ростом скорости перемещения пятна контакта деформирующего элемента с обрабатываемой поверхностью (см. рис. а, б, зависимости 2). При малых усилиях деформирования ( $P \leq 0,9 \text{ кН}$ ) и малых подачах ( $S \leq 0,17 \text{ мм/об}$ ) (высокой кратности приложения нагрузки) материал микровыступов, заполнив впадины в результате пластического деформирования, вытесняется из них.

С ростом подачи (уменьшением кратности приложения нагрузки)  $\phi$  возрастает (см. рис. в, зависимости 2).

Увеличение продольной подачи при обкатывании способствует снижению  $H_{\mu}$  из-за сокращения кратности приложения нагрузки.

Изменение скорости  $V$  и усилия деформирования  $P$  не оказывает влияния на характер зависимости  $H_{\mu} = f(S)$ . При малых и средних значениях продольной подачи ( $S \leq 0,175 \text{ мм/об}$ ) и усилия обкатывания ( $P = 1,1 \dots 1,5 \text{ кН}$ ) зависимости  $H_{\mu} = f(S)$  и  $H_{\mu} = f(V)$  – возрастающие. Это вызвано тем, что увеличение скорости обкатывания, а следовательно, скорости деформирования, приводит к росту сдвиговых деформаций в радиальном направлении. При этом низкие  $S$  и  $P$  не создают деформирующего воздействия, при котором увеличение скорости деформирования приводит к росту тепловыделения, снижающего микротвердость в поверхностном слое. Однако при увеличении  $S > 0,175 \text{ мм/об}$  и  $P > 1,5 \text{ кН}$  зависимость  $H_{\mu} = f(V)$  приобретает экстремальный характер, вызванный ростом температуры в поверхностном слое, приводящим к снижению величины  $H_{\mu}$ .

Скорость обкатывания (деформирования)  $V$ . Зависимости характеристик микрорельефа  $Ra$  и  $t_{50}$  от скорости обкатывания носят экстремальный характер (см. рис. а, б, зависимости 3). Первоначальный рост величины указанных характеристик объясняется снижением времени приложения деформирующего усилия. Дальнейшее увеличение скорости обкатывания способствует преобладающему влиянию повышения температуры в тонком поверхностном слое, а это, в свою очередь, интенсифицирует пластическую деформацию неровностей. Следовательно, рост скорости деформирования способствует формированию шероховатости поверхности ПМ, обуславливающей повышение износостойкости.

При  $V$  до  $25 \dots 27 \text{ м/мин}$  обеспечивается максимальное сохранение исходной поверхностной пористости. Дальнейшее увеличение  $V$  ведет к росту температуры в зоне контакта деформирующего элемента с поверхностью ПМ, что облегчает протекание пластической деформации, и величина  $\phi$  уменьшается. Взаимное влияние скорости обкатывания и подачи на кратность приложения нагрузки приводит к тому, что с увеличением подачи зависимость  $\phi = f(V)$  имеет возрастающий характер (см. рис. г, зависимости 3). Полного закрытия поверхностных пор в результате обработки ППД не наблюдалось.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Крагельский И.В., Колесниченко Н.Ф. Качество поверхности и трение в машинах. – Киев: Техника, 1969. – 145 с.
2. Баршай И.Л. Формирование единичного следа при обработке ППД деталей из порошковых материалов // Сб. докладов МНТК «Технология обработки поверхностным пластическим деформированием». – Польша, Быдгощ: Сельхозтехническая академия, 1996. – С. 221–230.
3. Баршай И.Л. Влияние обработки ППД на пористость порошковых материалов // Технические вузы – республике: Материалы Междунар. 52-й научно-технич. конференции / БГПА. – Минск, 1997. – Часть 2. – С. 44.

УДК 674.053

С.А. Гриневич, аспирант

**К ВОПРОСУ ЦИЛИНДРИЧЕСКОГО ФРЕЗЕРОВАНИЯ КРОМОК ФАНЕРЫ**

To the question of cylindrical milling of plywood edges.

Фрезерование – широко распространенный процесс резания древесины и древесных материалов. Качественным и производительным фрезерование может быть лишь при условии создания рациональных режимов резания и при правильной конструкции и геометрии режущих инструментов. Под рациональным режимом нельзя понимать лишь полную загрузку механизмов резания станка, поскольку фрезерование по своему назначению – это процесс чистовой обработки, и в связи с этим выбор оптимального режима резания должен быть в первую очередь обусловлен показателями качества обработки.

Качество обработанной поверхности зависит в основном от условий резания (подачи на резец, скорости резания, угловых параметров, затупления инструмента и т. п.). Сама древесина, являясь по своей природе материалом, обладающим различными физико-механическими свойствами по трем взаимно перпендикулярным направлениям (продольному, торцовому, поперечному), обуславливает различные характеры стружкообразования и поэтому в значительной степени предопределяет качество обработки. При фрезеровании кромок фанеры мы имеем дело с резанием вдоль волокон и в торец. Но данный процесс для фанеры не исследован, в связи с этим следует рассмотреть процессы резания и стружкообразования при данных направлениях резания для натуральной древесины.

**Фрезерование вдоль волокон.** В начальный момент направление резания совпадает с направлением волокон (рис. 1), т. е. происходит продольное резание ( $\psi=0$ ). В дальнейшем, по мере поворота резца фрезы, угол встречи с волокнами растет и начинается продольно-торцовое резание. На практике величина угла при выходе резца из материала при обычных условиях не превышает 10... 15°, что с некоторой погрешностью позволяет считать условия резания при фрезеровании в этом случае близкими к условиям резания вдоль волокон. Поскольку шероховатость обработанной поверхности зависит от характера стружкообразования в зоне каждой волны, можно определить максимальную толщину стружки  $a_r$  над гребнем волны. Согласно исследованиям Н.А. Кряжева [1], обычно она оказывается небольшой и даже при форсированных подачах ( $s = 1,5... 2$  мм) и диаметрах резания 100 мм составляет около 0,05...0,08 мм. Это дает основание считать, что стружкообразование происходит с получением сливной стружки, т. е. той, которая предопределяет наилучшие результаты обработки.