

$$P_{\text{окр}} = 2580 \left(\frac{S \sin \varphi}{z} \right)^{0,82} \omega^{0,11} \frac{1}{\gamma^{0,25}} l_0 z; \quad (2)$$

б) при обработке чугуна СЧ18-36

$$P_{\text{ос}} = 173 \left(\frac{S \sin \varphi}{z} \right)^{0,95} \left(\frac{S}{\pi D} \right)^{0,33} \omega^{0,65} \frac{1}{\gamma^{0,17}} l_0 z, \quad (3)$$

$$P_{\text{окр}} = 725 \left(\frac{S \sin \varphi}{z} \right)^{0,68} \omega^{0,13} \frac{1}{\gamma^{0,2}} l_0 z. \quad (4)$$

Полученные формулы справедливы для инструментов с левым наклоном зубьев и углом ω от 15 до 40°, как наиболее приемлемых.

Резюме. При силовом разворачивании с увеличением подачи обе составляющие силы резания возрастают не в одинаковой степени: окружная сила отстает от роста S , осевая почти пропорциональна ей. Направление и угол наклона зубьев оказывают значительное влияние на осевую составляющую. При правом наклоне зубьев, начиная с определенного для данных условий работы значения угла ω , вектор осевой силы совпадает с направлением подачи, что требует восприятия станком двусторонней осевой нагрузки (беззазорного привода подачи). Угол φ влияет на соотношение величин составляющих силы резания. При уменьшении φ осевая сила увеличивается, а окружная уменьшается.

УДК 621.787.4.04

П.И. Ящерицын, акад. АН БССР,
И.П. Филонов, канд. техн. наук, А.П. Минаков

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ МИКРОРЕЛЬЕФА В ПРОЦЕССЕ ПНЕВМОЦЕНТРОБЕЖНОЙ ОТДЕЛОЧНО-УПРОЧНЯЮЩЕЙ ОБРАБОТКИ

Новые конструкции инструментов, предложенные в [1, 4], предназначены для отделочно-упрочняющей обработки внутренних поверхностей вращения. Теоретические и экспериментальные исследования [2, 3] позволили выявить особенности изменения исходного микрорельефа и формирования некоторых других характеристик качества обработанной поверхности.

Разработанный метод поверхностного упрочнения отличается от традиционного раскатывания характером силового воздействия деформирующих элементов за счет усложнения их кинематики относительно обрабатываемой поверхности. Кинематические характеристики деформирующих элементов зависят не только от конструкции инструментов, но и от параметров исходных микронеровностей, их упругих свойств, шага, степени упрочнения исходной поверхности и др. На качество обработанной поверхности влияют условия предшествующей обработки. Технологическая наследственность в данном случае в большей степени предопределяет физико-механические свойства окончательно обработанной поверхности.

Качение шариков, находящихся под действием воздушного потока, односторонняя нежесткая связь их с обрабатываемой поверхностью и неустойчивое положение при контактировании с различными выступами микронеровностей, обусловленное действием центробежной силы при отсутствии взаимодействия деформирующих элементов друг с другом создают благоприятные условия для изменения исходного микрорельефа и упрочнения поверхностного слоя. Регулируя расход воздуха за счет изменения размеров канавки инструмента, можно обеспечить режим автоколебаний шариков в направлении нормали к траектории центра. Такое усложнение кинематики деформирующих элементов обеспечивает протекание процесса упрочнения в условиях ударно-динамического разнонаправленного силового воздействия на исходный микрорельеф.

На рис. 1 представлена схема пневмоцентробежной обработки шариками внутренней цилиндрической поверхности. Существенное отличие инструмента от традиционных раскатников заключается в том, что деформирующие элементы воздействуют на обрабатываемую поверхность в условиях изменения кинетической энергии поступательного и вращательного движений. Шарик, приводимые в движение сжатым воздухом, прижимаются к внутренней поверхности обрабатываемой детали центробежной силой. Раскатывание происходит при наличии проскальзывания в зонах контакта шариков с исходным микрорельефом и при их вращении. При наличии осевого перемещения инструмента (подачи) траектория центра шариков - винтовая линия.

Как видно из рис. 1, составляющие вектора абсолютной угловой скорости меняются по направлению и несущественно изменяются по величине. Проекция вектора угловой скорости на бинормаль $\vec{\omega}_b$ остается значительно больше векторов $\vec{\omega}_n$ и

$\bar{\omega}_\tau$. Значение проекции вектора угловой скорости на касательную $\bar{\omega}_\tau$ и нормаль $\bar{\omega}_n$ зависят от состояния обрабатываемой поверхности.

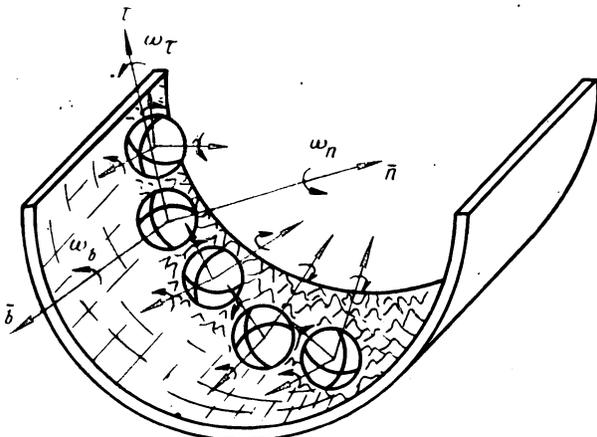


Рис. 1. Схема пневмоцентробежной обработки и основные движения деформирующих элементов.

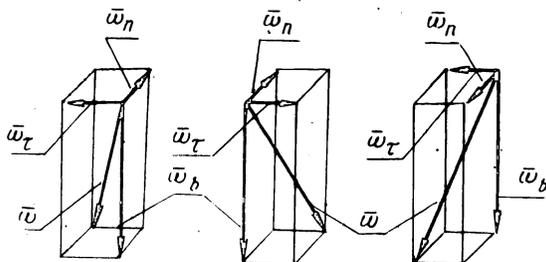


Рис. 2. Изменение направления вектора абсолютной угловой скорости шарика при изменении его составляющих.

Как показали экспериментальные исследования, углы поворота шариков вокруг осей \bar{n} и $\bar{\tau}$ за время одного прохода изменяются на угол менее 2π . Шарик, вращаясь вокруг бинормали, в процессе обкатки совершает возвратно вращательные движения вокруг нормали и касательной. Это приводит к изменению положения в пространстве вектора абсолютной угловой скорости $\bar{\omega}$ (рис.2). Ввиду того, что $\omega_b \gg \bar{\omega}_n$ ($\bar{\omega}_\tau$), т.е. $\varphi_b \gg \varphi_n$ (φ_τ), поверхность шариков, контактирующих с обрабатываемой поверхностью за время одного прохода имеет площадь, меньшую πd^2 , где d - диаметр шарика. Возможные положения точек контакта на поверхности шарика будут находиться в кольцевой зоне.

Наличие микронеровностей и дополнительных степеней свободы (в пределах кольцевой канавки инструмента) приводят к усложнению характера движения деформирующих элементов. Изменяя зазоры, регулирующие расход воздуха, можно упорядочить движение шариков и обеспечить автоколебательное движение их в направлении нормали к траектории центра. В этом случае эффективность вращательных движений вокруг осей \bar{n} и $\bar{\tau}$ возрастает. Смятие микровыступов обрабатываемой поверхности происходит в различных направлениях за счет изменения кинетической энергии деформирующих элементов при постоянном изменении направления вращения.

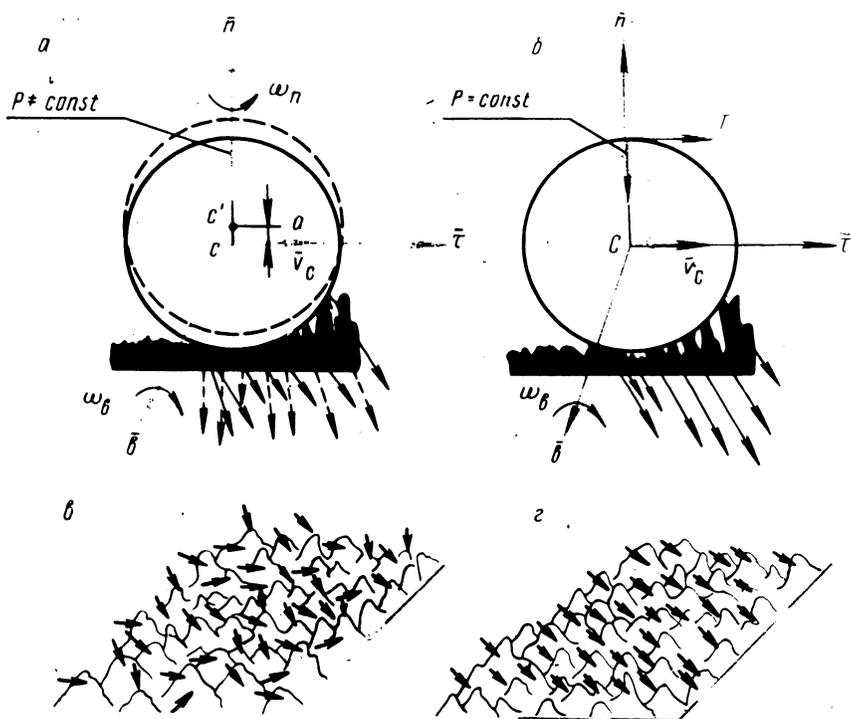


Рис. 3. Схема силового воздействия деформирующих элементов на исходный микрорельеф: а, б - в процессе пневмоцентробежной обработки; в, г - в процессе обработки традиционными методами ППД.

Локальное кратковременное воздействие на микронеровности в различных направлениях способствует частичному механическому разрушению дефектного слоя, сконцентрированного в зоне микровыступов. Обильный приток воздуха обеспечивает интенсивное удаление продуктов износа.

Силовое воздействие на микрорельеф обрабатываемой поверхности в условиях пневмоцентробежной обработки (рис.3,а,в)

отличается от традиционной обработки пластическим деформированием. Механизм формирования микрорельефа приближается к виброобкатыванию с преобладающим направлением возвратно-поступательного движения по нормали к обрабатываемой поверхности. Изменение траектории центров шариков (например, по эллипсу), достигаемое за счет конструкции инструмента, позволяет изменять величину усилия деформирования. Это обеспечивает возможность формирования трехмерного "регулярного" микрорельефа.

Накопление пластической деформации в процессе обработки традиционными методами ППД отличается неоднородностью на отдельных участках обрабатываемой поверхности в основном за счет постоянного по величине и направлению силового воздействия на микронеровности, имеющие различные характеристики (рис. 3, б, г). Кратковременность, разнонаправленность и периодичность силового воздействия, значительные давления в зонах контакта при наличии обильного охлаждения воздухом способствуют образованию качественного и равномерного по физико-механическим свойствам деформированного поверхностного слоя. Экспериментальные исследования показали, что шероховатость внутренних цилиндрических поверхностей, обработанных пневмоцентробежным способом, изменяется с шестого класса (после механической обработки) до одиннадцатого. Величина остаточной деформации на сторону находится в пределах 0,002...0,015 мм.

Резюме. Пневмоцентробежная обработка обеспечивает образование качественного и равномерного по физико-механическим свойствам поверхностного слоя. Величина остаточной деформации незначительна.

Л и г е р а т у р а

1. Патент США № 3911707 от 14.10.1975. 2. Ящерицын П.И. и др. Улучшение качества внутренних поверхностей деталей машин пневмодинамическим раскатыванием. - В сб.: Тезисы докл. Всесоюз. науч.-техн. конф. "Жесткость машиностроительных конструкций". Брянск, 1976. 3. Ящерицын П.И. и др. Новые конструкции инструментов для поверхностно-упрочняющей обработки - "Изв. АН БССР, сер. физ.-техн. наук", 1977, №1. 4. Ящерицын П.И. и др. Инструмент для поверхностно-упрочняющей обработки внутренних поверхностей вращения. - "Бюл. изобр.", 1977, №1.