

2. Бекаев А.А. Повышение геометрических параметров качества обрабатываемой поверхности детали в процессе протягивания (прошивания) на основе совершенствования динамических характеристик привода оборудования: Диссерт. канд. техн. наук. Москва, 2006 – 274 с.
3. Тимошенко С.П. Колебания в инженерном деле. – М.: Физмат, 1959 – 110 с.

Определение влияния применяемой смазки при деформирующем протягивании на физико-механические свойства поверхностного слоя отверстия детали

к.т.н., доц. Буйлов Е.А.
МГТУ «МАМИ»

Физико-механические свойства поверхностного слоя, как показали исследования авторов [1,2,3,4 и др.], оказывают существенное влияние на эксплуатационные качества (износостойкость, усталостная прочность, коррозионная стойкость и др.).

Исследование влияния основных технологических параметров (натяг, толщина стенки детали, применяемый материал, исходная шероховатость, применяемая смазка) на физико-механическое состояние поверхностного слоя проводилось по показателям:

- величина поверхностной твердости - $(H\mu)$;
- степень поверхностного упрочнения - $\delta_{пов}$;
- величина максимальной твердости, - HV_{max} ;
- полная глубина упрочненного слоя, - h ;
- распределение микротвердости по глубине упрочненного слоя.

Исследования проводились на образцах из стали 20, 45, 40Х, 12ХН3А с различными толщинами стенок, величинами суммарного натяга и натяга на деформирующий элемент одноэлементным инструментом как одно, так и многоцикловогой обработкой. Обработка проводилась с применением сульфифрезолола или металлоплакирующей смазки (МПС).

В процессе обработки поверхностный слой обрабатываемой детали подвергается неоднородной пластической деформации, которая уменьшается по глубине заготовки. Пластическая деформация сопровождается определенными структурными изменениями в поверхностном слое обрабатываемого материала и приводит к изменению физико-механических свойств. В поверхностном слое при пластической деформации увеличиваются все характеристики сопротивления деформирования, снижается пластичность, повышаются твердость и хрупкость.

Процесс деформирующего протягивания (ДП) является высокопроизводительным процессом механической обработки, позволяющим получать заданные физико-механические свойства деталей в широком диапазоне с учетом условий эксплуатации. Например, зная схему нагружения деталей в процессе эксплуатации, можно создать поверхностный слой, который обеспечивает максимальную износостойкость детали в процессе эксплуатации.

При ДП немалую роль играет и применяемая смазка, так как при обработке в зоне контакта возникают большие силы трения скольжения. Поэтому правильный выбор смазки уменьшает силы трения, адгезионное схватывание металла инструмента и заготовки, облегчает упругое и пластическое деформирование обрабатываемого металла.

В данных исследованиях использовались МПС в сравнении с - сульфифрезололом. В процессе обработки МПС образует неразрывную, металлоплакирующую, самовосстанавливающуюся, экранирующую пленку, частично воспринимающую на себя сдвиговые деформации, что облегчает условия упругой и пластической деформации металла в радиальном направлении.

При обработке с МПС изменения микроструктуры поверхностных слоев металла происходят менее интенсивно, чем при обработке с сульфифрезололом и выражается в некоторых случаях, лишь в дроблении зерен. Следовательно, образование текстуры в поверхностных

слоях связано с деформациями сдвига (при обработке с МПС они меньше), предопределяемыми характером трения, а дробление зерен - деформацией растяжения (утонения) стенки заготовки, обусловливаемой величиной натяга деформирующего протягивания.

Структурные изменения поверхностных слоев металла сказываются на изменении его твердости. Исследования распределения микротвердости по глубине упрочненного поверхностного слоя металла в сечениях втулок из ст.45, $d_0 = 20,8$ мм, $t = 7,1$ мм, обработанных с натягами $a = 0,1; 0,2; 0,4; 0,8$ мм в двух условиях смазки, показывают, что при деформирующем протягивании упрочнение приповерхностного слоя (примерно на глубине 0,01-0,03мм.) достигает максимальной величины и по мере удаления от поверхности твердость металла постепенно уменьшается, приближаясь к постоянному значению. Это характерно для всех величин натягов с единственной разницей, что по мере увеличения натяга увеличивается величина микротвердости поверхности, глубина упрочненного слоя и степень упрочнения.

Из сравнения полученных результатов замеров с фотографиями микроструктуры видно, что глубина распространения упрочнения приблизительно соответствует толщине слоя текстуры, образованной в результате дополнительных сдвигов металла в направлении движения инструмента.

При обработке с МПС степень упрочнения и глубина упрочненного слоя зависят от экранирующих свойств образующейся при обработке пленки, образование которой в свою очередь зависит от множества факторов, в том числе и от основных технологических параметров. На рис. 1, 2 (кривая 2) видно, что интенсивность степени упрочнения и глубины упрочненного слоя по своим абсолютным величинам близка к величинам при обработке с сульфозфрезолом. С увеличением натяга возрастает разница величины степени упрочнения. Так, если при натягах $a = 0,1$ мм эта разница почти не заметна, то при $a = 0,2$ мм она составляет около 3-5%, а при натягах $a = 0,8$ мм - около 8-10%. Это объясняется тем, что с увеличением натяга увеличиваются все факторы, влияющие на интенсификацию процесса избирательного переноса и формирование более стабильной металлоплакирующей пленки с более высокими экранирующими способностями и воспринимающей на себя большие сдвиговые напряжения и деформации. При этом увеличение микротвердости слоя металла, расположенного у самой поверхности, указывает на то, что течение металла в осевом направлении осуществляется и под слоем смазки, однако, ввиду отсутствия адгезионного взаимодействия его с поверхностью инструмента, величина сдвиговой деформации и глубина её распространения незначительна.

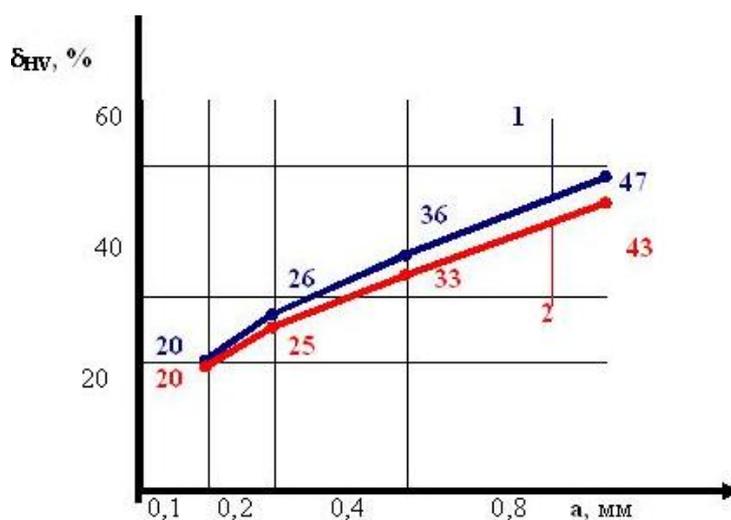


Рис. 1. Зависимость степени упрочнения поверхностного слоя металла во втулках из ст. 45 при $t = 7,1$ мм, $d_0 = 20,8$ мм от натяга:

1 – обработка с сульфозфрезолом; 2 – обработка с МПС

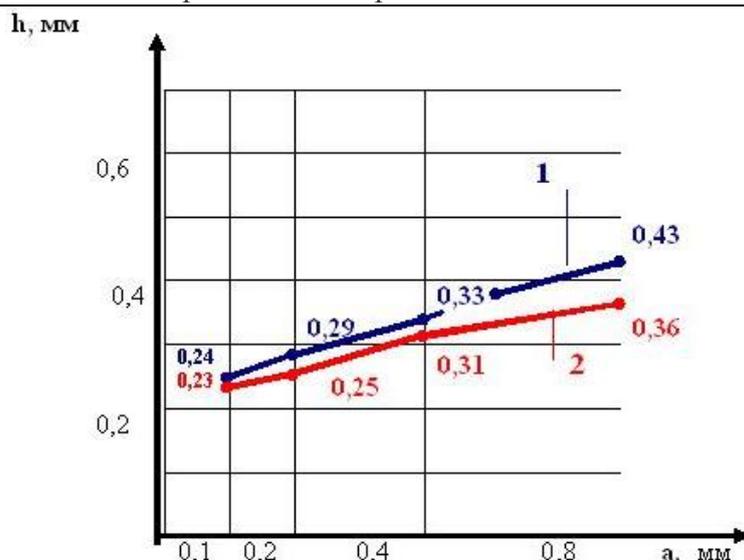


Рис. 2. Зависимость глубины упрочнения поверхностного слоя металла во втулках из ст. 45 при $t = 7,1$ мм, $d_0 = 20,8$ мм от натяга:
1 – обработка с сульфореолом; 2 – обработка с МПС

Обобщенные результаты показывают, что степень упрочнения металла в диапазоне $a = 0,1-0,8$ мм, при обработке с сульфореолом практически прямо пропорциональна натягу деформирующего протягивания, а при обработке с МПС (кривая 2) с увеличением натяга повышение степени упрочнения идет менее интенсивно, о чем свидетельствует увеличение угла наклона кривой 2 к оси абсцисс. Этот вывод относится и к зависимости глубины упрочненного слоя металла от натяга.

На рис. 3 показаны графики зависимости степени упрочнения, а на рис. 5 графики зависимости глубины упрочненного слоя от обрабатываемого металла втулок (ст. 20, 45, 40X и 12ХН3А) с $d_0 = 20,8$ мм, $t = 7,1$ мм и обработанных с одинаковым натягом $a = 0,4$ мм в двух условиях смазки.

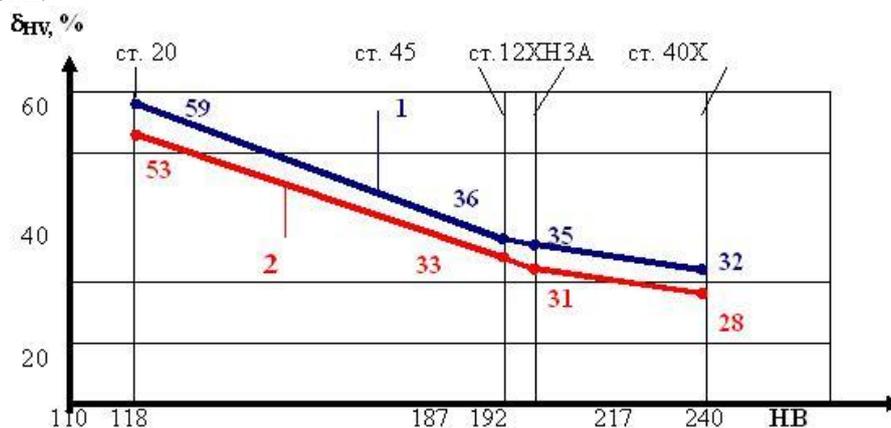


Рис. 3. Зависимость степени упрочнения поверхностного слоя металла отверстия детали из ст. 45 с $d_0 = 20,8$ мм и $t = 7,1$ мм при обработке с натягом $a = 0,4$ мм:
1 – обработка с сульфореолом; 2 - обработка с МПС

Анализ микроструктур и графиков показывает, что, чем пластичнее материал (ст. 20), тем отчетливее видно изменение структуры и выше степень упрочнения. Для углеродистых сталей степень упрочнения и глубина упрочненного слоя будут выше при меньшем содержании в них углерода. Так, максимальная величина упрочненного слоя у ст. 20 в среднем на $15-20$ кгс/мм² выше, чем у ст. 45. Исследованиями также установлено, что увеличение количества легирующих элементов снижает степень упрочнения и глубину упрочненного слоя так

же, как увеличение содержания в них углерода.

При обработке с МПС характер изменения графиков (кривая 2) менее интенсивен и имеет больший наклон к оси абсцисс, что подтверждает ранее сделанные выводы.

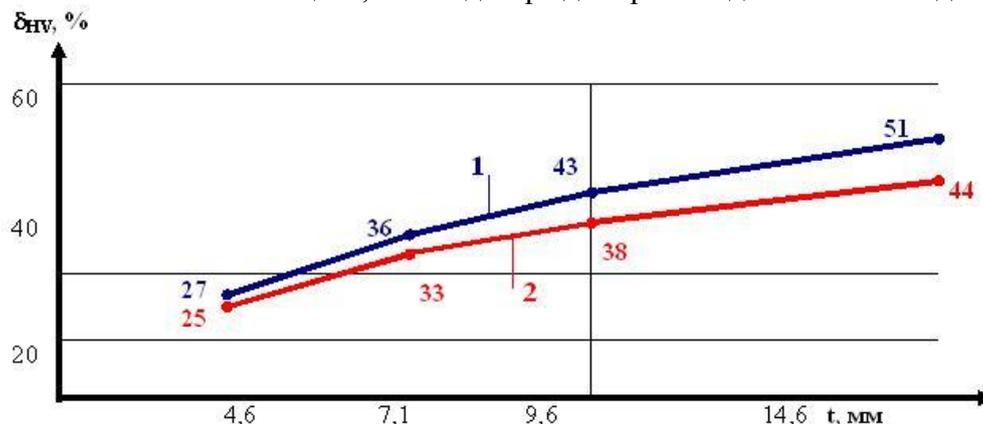


Рис. 4. Зависимость степени упрочнения поверхностного слоя металла отверстия детали из ст. 45 с $d_0 = 20,8$ мм при обработке с натягом $a = 0,4$ мм от толщины стенки: 1 — обработка с сульфифрезолом; 2 — обработка с МПС

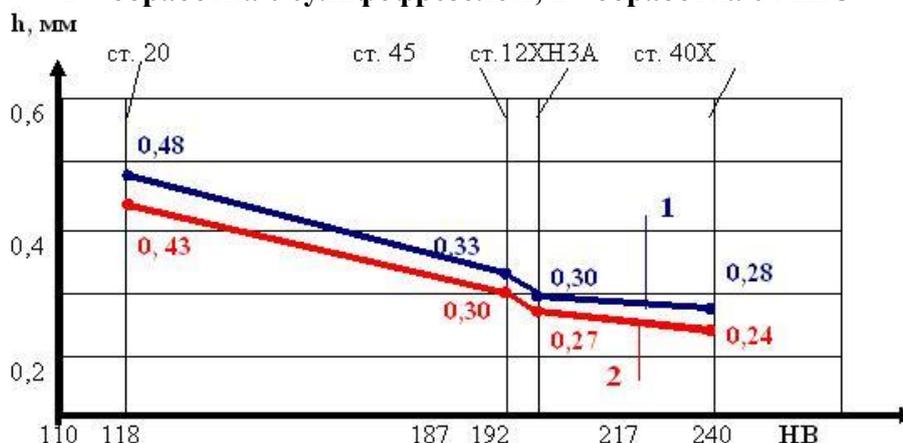


Рис. 5. Зависимость глубины упрочненного поверхностного слоя металла отверстия детали с $t = 7,1$ мм, $d_0 = 14,6$ мм при обработке с натягом $a = 0,4$ мм от исходной твердости металла: 1 — обработка с сульфифрезолом; 2 — обработка с МПС

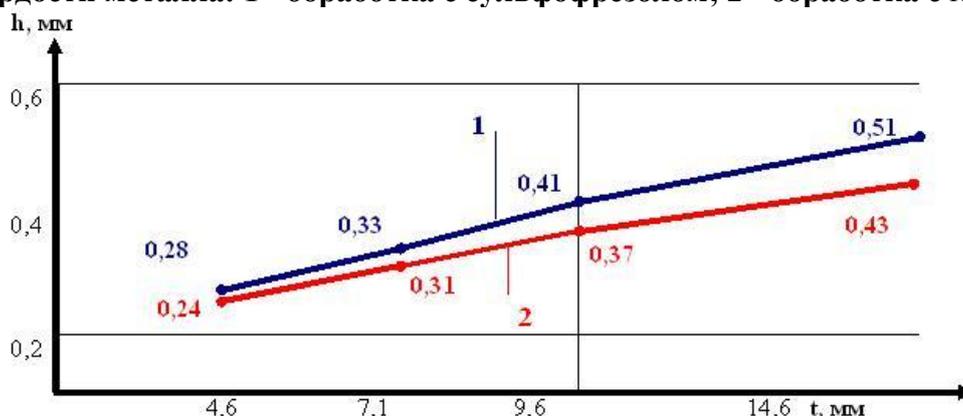


Рис. 6. Зависимость глубины упрочненного поверхностного слоя металла отверстия детали из ст. 45 (НВ = 187) с $d_0 = 20,8$ мм при обработке с натягом $a = 0,4$ мм от толщины стенки: 1 — обработка с сульфифрезолом; 2 — обработка с МПС

Анализируя графики, можно сделать следующие выводы. На степень упрочнения наибольшее влияние оказывает твердость обрабатываемого материала. Причем с увеличением

твердости степень упрочнения уменьшается, что еще раз подтверждает положение о том, что малоуглеродистые с небольшой твердостью стали упрочняются значительно больше, чем средние и высокоуглеродистые. Это же относится и к низкоуглеродистым сталям.

На рис. 4 показаны графики зависимости степени упрочнения, а на рис. 6 – зависимости глубины упрочнения поверхностного слоя втулок из ст. 45 с $d_0 = 20,8$ мм, при натяге $a = 0,4$ мм от толщины стенок $t = 4,6; 7,1; 9,6; 14,6$ мм.

Анализ микроструктур и графиков показывает, что, чем толще стенка, тем выше степень вытянутости зерен и глубина упрочненного слоя. Так, для толщины стенки $t = 4,6$ и $7,1$ мм структурных изменений при $a = 0,4$ мм практически незаметно, а при $t = 9,6$ мм они едва проявляются, и только при $t = 14,6$ мм проявляется микроструктура с небольшим характерным наклоном зерен и их измельчением.

Результаты измерений микротвердости поверхности подтверждают выводы микроструктурных исследований. Толщина слоя с повышенной микротвердостью возрастает с увеличением толщины стенки. Поверхностная твердость при толщине стенки $t = 14,6$ мм продолжает возрастать с увеличением натяга, в то время как при толщинах стенок $t = 4,6$ и $7,1$ мм она после некоторого повышения остается примерно одинаковой.

Влияние толщины стенки на структурные изменения и упрочнение связано с изменением силовых характеристик процесса протягивания. При одном и том же натяге на деформирующий элемент сила протягивания с увеличением толщины стенки увеличивается. Следовательно, увеличиваются и удельные нагрузки в зоне контакта инструмента и детали. Повышение контактного давления приводит к возрастанию пластической деформации и более интенсивному повышению степени упрочнения и глубины упрочненного слоя. Эти выводы характерны для ДП в обоих условиях смазки, только при МПС эти процессы идут менее интенсивно (кривая 2), что и видно на всех графиках.

На рис. 7 показаны графики зависимости степени упрочнения, а на рис. 8 - зависимости глубины упрочнения поверхностного слоя металла во втулках из ст. 45 с $d_0 = 20,8$ мм, $t = 7,1$ мм от суммарного натяга и количества циклов обработки.

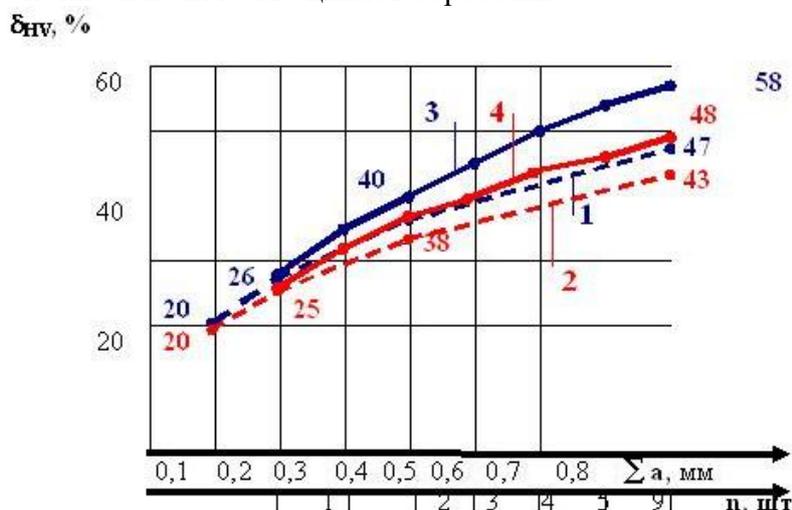


Рис. 7. Зависимость степени упрочнения поверхностного слоя металла во втулках из ст.45 при $t = 7,1$ мм, $d_0 = 20,8$ мм от суммарного натяга и количества циклов обработки:

- 1 – одноцикловая обработка с сульфифрезолом; 2 – одноцикловая обработка с МПС;**
- 3 - многоцикловая обработка с сульфифрезолом; 4 - многоцикловая обработка с МПС**

Из графиков видно, что при увеличении суммарного натяга степень упрочнения и глубина упрочненного слоя возрастают. Возрастает и микротвердость сердцевины. Сравнивая характер распределения кривых при одноцикловой обработке рис. 1, 2 и кривых при многоцикловой обработке рис. 7, 8, можно сделать вывод, что при $a = 0,2$ мм и при $n = 1$ никаких отличий нет, при $\Sigma a = 0,4$ мм и $n = 2$ степень упрочнения и глубина упрочненного слоя име-

ют почти одинаковые значения, а при возрастании суммарного натяга до $\Sigma a = 0,8$ мм и $n = 9$ степень упрочнения и глубина упрочненного слоя возросли при обработке в среде сульфидфрезолола на $20 \div 25$ % и на $10 \div 15$ % при обработке в среде МПС. Причиной различия между одноцикловой и многоцикловой обработкой в увеличении степени упрочнения и глубины упрочненного слоя является трение деформирующего элемента об обрабатываемую поверхность (при МПС коэффициент трения ниже - ниже и значения на кривых 2 графиков).

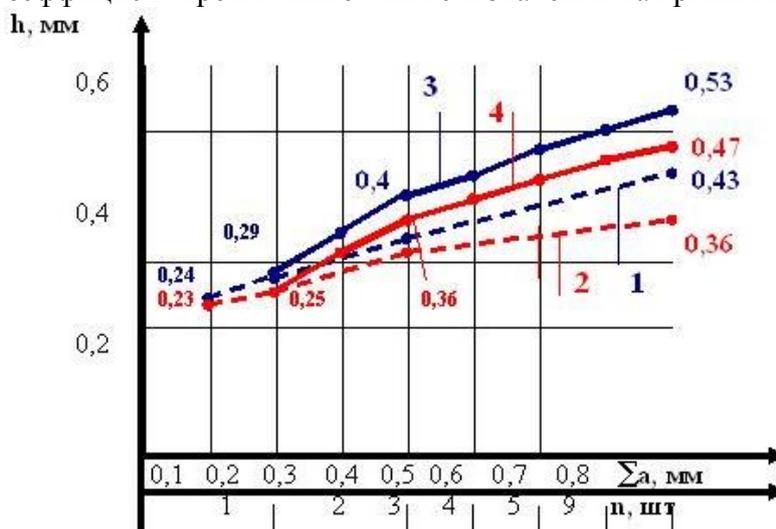


Рис. 8. Зависимость глубины упрочнения поверхностного слоя металла во втулках из ст.45 при $t = 7,1$ мм, $d_0 = 20,8$ мм от натяга:

1 – одноцикловая обработка с сульфидфрезололом; 2 – одноцикловая обработка с МПС; 3 - многоцикловая обработка с сульфидфрезололом; 4 - многоцикловая обработка с МПС

Чем большему числу циклов деформации и трения подвергается обрабатываемая поверхность, тем больше степень упрочнения и глубина упрочненного слоя. Следует также отметить, что подъем кривых 2, с возрастанием суммарного натяга и количества циклов обработки при деформирующем протягивании в среде МПС менее интенсивен, чем при обработке с сульфидфрезололом.

Таким образом, при ДП, поверхностные слои металла претерпевают структурные изменения, происходит упрочнение поверхностного слоя и повышение его твердости по сравнению с твердостью сердцевины. Наиболее существенные влияния на структурные изменения и упрочнения оказывают натяг на деформирующий элемент, толщина стенки и исходная твердость обрабатываемого материала. На степень упрочнения наибольшее влияние оказывает твердость обрабатываемого материала. Причем с увеличением твердости степень упрочнения уменьшается, что подтверждает положение о том, что малоуглеродистые стали с небольшой твердостью упрочняются значительно больше при одной и той же степени деформации.

С увеличением натяга и толщины стенки степень упрочнения несколько увеличивается. Применение МПС дает на 5-10% меньшее значение степени упрочнения при всех вариантах обработки.

На глубину упрочнения наибольшее влияние оказывает натяг пластического деформирования, причем зависимость эта параболическая. Из графиков видно, что глубина упрочнения до натяга 0,4 мм. растет менее интенсивно, затем начинается интенсивный подъем. Это объясняется тем, что объемные деформации появляются в стенке детали с натягов 0,2-0,4 мм в зависимости от диаметра отверстия, толщины стенки детали и физико-механических свойств материала. Поэтому для натягов, меньших этих значений, глубина упрочнения будет определяться величиной поверхностных сдвиговых деформации.

Применение МПС из-за имеющих место экранирующих свойств снижает поверхност-

ные сдвиговые деформации, а значит, и глубину упрочненного слоя по сравнению с применением смазки типа сульфозфрезол.

Литература

1. Кузнецов А.М. Технологические основы создания методов обработки в машиностроении. Дисс на соискание ученой степени д.т.н. М., МАМИ, 1975г.
2. Кузнецов В.А. Исследование качества поверхностного слоя при деформирующе-режущем протягивании. Дисс. на соискание ученой степени к.т.н. М., МАМИ, 1985г. 211с.
3. Проскуряков Ю.Г. Объемное дорнование отверстий. М., Машиностроение, 1984г., 222с.
4. Розенберг А.М. Физические явления при деформирующем протягивании и резание пластических металлов. Киев, Институт сверхтвердых материалов АН УССР, 1978г. 187с.

Влияние метода зубонарезания на изгибную прочность зубьев цилиндрических колёс автомобилей и тракторов

к.т.н. доц. Виноградов В.М., к.т.н. доц. Черепяхин А.А.
МГТУ «МАМИ»

Зубчатые колёса автотракторных трансмиссий работают в широком диапазоне окружных скоростей: шестерни коробок передач, раздаточных коробок и коробок отбора мощности в пределах 2...20 м/с для тракторов, и до 40 м/с для автомобилей, шестерён бортовых передач тракторов в пределах 0,4...1,5 м/с.

Основными причинами выхода из строя трансмиссионных зубчатых колёс в эксплуатации является поломка зубьев из-за недостаточной усталостной прочности их на изгиб и выкрашивание боковых поверхностей зубьев вследствие усталости металла под действием контактных напряжений. В большинстве случаев несущая способность тяжело нагруженных зубчатых колёс бортовых передач тракторов и ведущих мостов автомобилей ограничивается изгибной прочностью зубьев, которая определяется их формой и размерами и во многом зависит от формы переходной кривой, определяющей концентрацию напряжений и размеры зубьев у основания.

При обработке зубчатых колёс в настоящее время широко применяются самые разнообразные методы формообразования впадин между зубьями, которые в значительной мере определяют содержание, длительность и качественные показатели зубообрабатывающих операций.

Формообразование впадин между зубьями цилиндрических колёс может осуществляться одним из трёх методов: копированием, огибанием и обкаткой.

При обработке зубьев колёс по методу копирования профиль впадин между зубьями обрабатываемого колеса является копией профиля производящих кромок инструмента, а процесс зубообработки осуществляется путём последовательного формирования впадин между соседними зубьями колеса при единичном делении после обработки каждой впадины.

Метод огибания заключается в том, что профиль впадины между зубьями образуется как огибающая различных положений производящих кромок инструмента. После получения профиля одной впадины между двумя зубьями заготовка поворачивается на один шаг, и путём огибания начинает формироваться профиль следующей впадины и так далее, то есть данный метод сочетается с единичным делением. Иногда этот метод в технической литературе называют методом бесцентроидного огибания.

Метод обкатки или центроидного огибания является частным случаем метода огибания. Сущность его заключается в том, что обработка зубьев цилиндрического колеса осуществляется за счёт воспроизводства зацепления сопряжённых деталей зубчатой пары, из которых одна деталь является заготовкой обрабатываемого зубчатого колеса, а другая – инструментом.

Производящие кромки обкатного инструмента, занимая последовательно различные положения на линии зацепления воспроизводимой пары, снимают во впадине заготовки оп-