

**Таблица 2. Показатели экономической эффективности посева зерновых культур при использовании различных посевных агрегатов**

Наименование показателя	Марка трактора и сеялки	
	БЕЛАРУС 3522	
	Amazonе Citan 12001-C	СПШ-9У «Берестье» 2
Балансовая цена (без НДС), руб.:		
- сеялки	319 361	158 400
- трактора	260 215	260 215
Производительность, га/ч:		
- сменного времени	10,15	6,55
Затраты труда, чел.-ч/га	0,1	0,15
Затраты материально-денежных средств на 1 га посева, руб., в т.ч.:		
- зарплата	0,2	0,3
- амортизация	15,1	16,1
- ремонт и техническое обслуживание	9,8	11,1
- топливо	5,9	10,0
Всего	31	37,5
Экономия топлива за год, т	7,4	–

Выбор оптимальных вариантов различных посевных агрегатов для посева зерновых культур позволит сельским товаропроизводителям сохранить качество, сократить сроки посева, снизить себестоимость и повысить экономическую эффективность производства зерна.

#### **Список использованной литературы**

1. Отчет № 101 Б 9/3-2019ИЦ от 09.12.2019. ИЦ Гу «Белорусская МИС». – Минск : ИЦ Гу «Белорусская МИС», 2019. – 33 с.

#### **УДК 621.9**

*А.А. Дудников, канд. техн. наук, профессор,*

*А.В. Горбенко, канд. техн. наук, доцент,*

*А.А. Келемеш, канд. техн. наук, доцент,*

*Т.Г. Лапенко, канд. техн. наук, доцент,*

*А.А. Бурлака, канд. техн. наук, доцент,*

*Полтавская государственная аграрная академия, г. Полтава,*

#### **ПЛАСТИЧЕСКОЕ ДЕФОРМИРОВАНИЕ ПРИ ОБРАБОТКЕ ДАВЛЕНИЕМ**

**Ключевые слова:** пластическое деформирование, поверхностный слой, главные напряжения, вибрационная обработка, упрочнение.

**Key words:** plastic deformation, surface layer, principal stresses, vibration processing, hardening

**Аннотация:** в статье рассматриваются вопросы пластического деформирования при обработке материала деталей. Показана зависимость глубины пластического деформирования от качества поверхности. Приводятся зависимости главных напряжений в обрабатываемом материале. Даются оптимальные значения угла уклона обрабатывающего инструмента. Показано влияние вибрационной обработки на упрочнение обрабатываемой поверхности.

**Abstract:** the article discusses the issues of plastic deformation during the processing of material parts. The dependence of the depth of plastic deformation on the surface quality is shown. The dependences of the main stresses in the processed material are given. The optimal values of the slope angle of the processing tool are given. The effect of vibration processing on the hardening of the treated surface is shown.

Пластическая деформация является главным фактором, определяющим механические и физические свойства микрообъемов материала, прилегающих к поверхности контакта, а также степень его поверхностного разрушения. Природа связи последней с пластической деформацией является основной проблемой физики поверхностной прочности.

В процессе обработки материала деталей пластическим деформированием возникающая под действием усилий поверхностного слоя деформация вызывает изменение его физико-механических свойств.

Степень этих изменений зависит от метода, режимов обработки, а также структуры материала, его шероховатости, размеров, формы и ряда других факторов.

Поверхностный слой восстанавливаемых деталей формируется в результате разнообразных технологических процессов, которые образуют необходимую форму поверхности и изменяют свойства материала. Физико-химические параметры поверхностного слоя, его структура и напряжённое состояние, как правило, значительно отличаются от свойств всего объёма материала.

При пластической деформации в поверхностном слое металла происходит сдвиг в зёрнах металла, изменение формы и размеров зёрен, что вызывает повышение прочности и твёрдости материала обрабатываемых деталей. Важной характеристикой пластически деформированного слоя является его глубина, которую экспериментально можно определять по размерам твёрдости по Виккерсу или микротвёрдости по шлифам.

При возникновении пластической деформации на границе раздела пластической и упругой деформаций происходит их перераспределение,

оказывающее определённое влияние на глубину упрочнённого слоя  $h$ .

Глубина упрочнения может быть определена зависимостью, вытекающей из решения упругой контактной задачи для усилия  $P$  [1]:

$$h = \sqrt{\frac{P}{2\sigma_T}}. \quad (1)$$

Авторами [2] установлена зависимость определения глубины упрочнённого слоя с учётом диаметра  $d$ , глубины  $h_1$  отпечатка и диаметра обрабатывающего инструмента (пуансона)  $D$ :

$$h = 5,5 h_1 \frac{D}{d}. \quad (2)$$

Глубина пластического деформирования обрабатываемого слоя поверхности зависит также от характера распределения давления по контактной поверхности, шероховатости обрабатываемой поверхности и формы обрабатывающего инструмента.

В большинстве случаев форма поверхности обрабатываемой детали и её качество в процессе обработки давлением определяются применяемым рабочим инструментом. Вызванная формой обрабатывающего инструмента неравномерная деформация способствует появлению на поверхности детали дополнительных напряжений. Их следует учитывать при выборе формы и размеров рабочего инструмента.

В деформируемых слоях материала, которые стремятся к большему изменению размеров, возникают дополнительные напряжения, знак которых отвечает уменьшению размеров в рассматриваемом направлении. В слоях, стремящихся к меньшему изменению размеров, возникают дополнительные напряжения, знак которых отвечает увеличению размера.

Сумма основных и дополнительных напряжений определяет напряжённое состояние обрабатываемого материала.

Наличие касательных составляющих усилий обработки вызывает повышение степени деформации на поверхности, не оказывающих существенного влияния на глубину упрочнения (наклёпа). Поэтому, при расчёте глубины деформации принимаем, что в зоне упругих деформаций, расположенной под пластически деформированной зоной, распределение напряжений будет такое же, как и при чисто упругом деформированном состоянии, т.е. соответствующие решению контактной задачи теории упругости.

В данном случае в соответствии с теорией Герца главные напряжения в материале обрабатываемой детали в площадках перпендикулярных координатным осям могут быть выражены [2]:

$$\left. \begin{aligned} \sigma_x &= P_0 2\mu \left[ 1 + \left( \frac{z}{b_y} \right)^2 - \frac{z}{b_y} \right] \\ \sigma_y &= -P_0 \left[ \frac{1 + 2 \left( \frac{z}{b_y} \right)^2}{\sqrt{1 + \left( \frac{z}{b_y} \right)^2}} - 2 \frac{z}{b_y} \right] \\ \sigma_z &= -P_0 \frac{1}{\sqrt{1 + \left( \frac{z}{b_y} \right)^2}} \end{aligned} \right\}, \quad (3)$$

где  $P_0$  – максимальное давление на средней линии прямоугольного отпечатка.

$$P_0 = \frac{P}{\pi a_x b_y}. \quad (4)$$

Предел текучести материала при найденных значениях главных напряжений можно записать:

$$\sigma_T = \sqrt{\frac{1}{2} (\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2}. \quad (5)$$

С учётом уравнения (4) имеем:

$$\sigma_T = \frac{2}{\pi a_y b_y} \sqrt{\frac{1}{2} P_0^2 \left[ (\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2 \right]}. \quad (6)$$

При деформировании цилиндрических образцов коническим пуансоном его угол уклона способствует формированию напряжённого состояния, что способствует повышению упрочнения обрабатываемого материала.

С увеличением угла уклона обрабатывающего инструмента (пуансона) из-за неравномерности деформации повышается напряжение деформирования, а также снижается сила контактного трения вследствие уменьшения поверхности контакта пуансона с обрабатываемой детали.

В этой связи в зависимости от материала детали, её размеров и формы, вида деформирования (вибрационное или обычное) угол уклона пуансона как показали проведенные нами исследования, можно принимать в пределах 5–15°.

На величину упрочнения обрабатываемого материала оказывает шероховатость поверхности, полученная в результате деформирования, которая в значительной степени определяет напряжённое состояние деформирования и влияет на его упрочнение.

По нашему мнению, концентраторами дополнительных напряжений является микрорельеф обработанной поверхности, снижающий прочностные характеристики материала. Более высокие неровности поверхности

вызывают снижение фактической площади контакта сопрягаемых поверхностей в процессе эксплуатации сопряжения деталей. Это способствует повышению удельного давления и уменьшению износостойкости работающей пары трения.

При пластическом деформировании поверхности детали с определённой скоростью происходит изменение её формы и размеров, результатом которого является упрочнение поверхностного слоя. Скорость деформирования является одним из основных факторов, определяющих качество обработанного материала.

Исследованиями установлено, что с повышением скорости деформации происходит увеличение упрочнения.

Существенное влияние на качество поверхности и величину упрочнения оказывает метод обработки.

Динамический характер процесса вибрационного упрочнения способствует повышению микротвёрдости, образованию сжимающих остаточных напряжений и уменьшению шероховатости поверхности.

Виброупрочнение является универсальным методом упрочняющей обработки.

Какая перспектив использования колебаний различного спектра в технологических целях, можно отметить, что в ближайшие годы интерес к этой проблеме со стороны соответствующих специалистов будет возрастать [3].

Следует отметить, что пластичность, а следовательно и упрочнение обрабатываемой поверхности, зависят как от свойств материала, так и от механической схемы деформации. Её влияние на пластичность тем заметнее, чем менее пластичный металл по природе.

Поэтому при обработке давлением малопластичных металлов не следует применять схемы напряженного состояния с растягивающими напряжениями.

Перспективной схемой по пластичности является схема всестороннего сжатия с одной деформацией растяжения и двумя деформациями сжатия. Такая схема обеспечивает наибольшее упрочнение обрабатываемого материала деталей при их восстановлении.

### **Список использованной литературы**

1. Хейфец, С.Г. Аналитическое определение глубины наклёпанного слоя при обработке роликами стальных деталей. М.: Машиностроение, 1972. – 272 с.

2. Чёрный, А.Г. Исследование зависимости пределов выносливости упрочнённых валов от характеристик поверхностного пластически деформированного слоя и параметров процесса упрочнения: Дис., канд. техн. наук. – М., 1971. – 215 с.

3. Бабичев, А. П., Бабичев И. А. Основы вибрационной технологии. – Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2008. – 694 с.