DOI - 10.32743/UniTech.2023.110.5.15448

РАСЧЕТ ГЛУБИНЫ НАКЛЕПА ПРИ ДРОБЕСТРУЙНОМ УПРОЧНЕНИИ ЗУБЬЕВ БАТАНА ТКАЦКОГО СТАНКА ТИПА СТБ

Касимов Бахтиер Мурат угли
PhD, доц., Андижанский Машиностроителъный институт,
Республика Узбекистан, г. Андижан
E-mail: kasimovbaxtiyor.1991@gmail.com,

Шин Илларион Георгиевич
д-р техн. наук, профессор,
Ташкентский институт текстильной и легкой промышленности,
Республика Узбекистан, г. Ташкент
E-mail: igshin54@mail.ru

Муминов Мансурбек Рахимжонович
PhD, ст. научн. сотр., АО "Пахтасаноат илмий маркази",
Республика Узбекистан, г. Ташкент
E-mail: mansurbek@mail.ru,

CALCULATION OF THE DEPTH OF HARDENING DURING SHOT BLASTING HARDENING OF THE TEETH OF THE BATAN LOOM OF THE STB TYPE

Bakhtiyor Kasimov
PhD, associate professor,
Andijan Machine-Building Institute,
Republic of Uzbekistan, Andijon

Illarion Shin
Doctor of Technical Sciences, Professor,
Tashkent Institute of Textile and Light Industry,
Republic of Uzbekistan, Tashkent

Mansurbek Muminov
PhD, senior researcher, JSC,
"Pakhtasanoat ilmiy markazi",
Republic of Uzbekistan, Tashkent

АННОТАЦИЯ

В статье приведены материалы по теоретическому определению глубины наклепа поверхностного слоя – важнейшего параметра качества обработанной поверхности, ответственного за долговечность деталей машин, в частности, зубьев батана бесчелночных ткацких станков, подвергающихся изнашиванию внутренних контактных поверхностей при работе в паре с нитепроводником.

Глубину наклепа при дробеударном упрочнении микрошариками определяли через усилие внедрения, связанное с размером пластического отпечатка (диаметра лунки) при допущении постоянства среднего давления сопротивления внедрению или среднего давления течения (предела текучести) на поверхности контакта при движении недеформируемого шарика в обрабатываемой среде.

ABSTRACT

The article presents materials on the theoretical determination of the depth of work hardening of the surface layer - the most important parameter of the quality of the treated surface, responsible for the durability of machine parts, in particular, the teeth of the batan of shuttleless looms, which are subject to wear of the internal contact surfaces when working in tandem with the thread guide.

The depth of work hardening during shot-impact hardening with microballs was determined through the penetration force associated with the size of the plastic imprint (hole diameter) under the assumption that the average penetration resistance pressure or the average flow pressure (yield strength) on the contact surface was constant during the movement of a non-deformable ball in the treated medium.

Библиографическое описание: Касимов Б.М., Шин И.Г., Муминов М.Р. РАСЧЕТ ГЛУБИНЫ НАКЛЕПА ПРИ ДРОБЕСТРУЙНОМ УПРОЧНЕНИИ ЗУБЬЕВ БАТАНА ТКАЦКОГО СТАНКА ТИПА СТБ // Universum: технические науки : электрон. научн. журн. 2023. 5(110). URL: *https://7universum.com/ru/tech/archive/item/15448*

Ключевые слова: поверхностно- пластическое деформирование, дробеударная обработка, наклеп, зуб батана, глубина наклепа, предел текучести, сила, микрошарик.

Keywords: surface-plastic deformation, shot-peening, hardening, batan tooth, hardening depth, yield strength, force, microball.

Отделочно-упрочняющая обработка ответственных деталей машин, осуществляемая методами поверхностного пластического деформирования (ППД), и являющаяся окончательной операцией технологического процесса изготовления изделий, в большинстве случаев успешно конкурирует и даже заменяет традиционные способы финишной обработки – хонингование, суперфиниширование, доводка и др.

Методы ППД деталей машин основаны на целенаправленном использовании пластических свойств металлов, т.е. способность поверхностных слоев обрабатываемых деталей воспринимать остаточные деформации без нарушения сплошности упрочненной поверхности. При этом методы ППД обеспечивают высокую производительность обработки, низкую шероховатость поверхности и формирование требуемых физико- механических свойств поверхностного слоя деталей, что положительно влияют на эксплуатационные показатели (работоспособность, долговечность) рабочих органов машин и механизмов в различных отраслях промышленности.

Дробеударная обработка относится к простым и одновременно к эффективным методам отделочно-упрочняющей обработки деталей машин, требующих высокую долговечность, надежность и усталостную прочность. Существенное увеличение несущей способности элементов конструкций и деталей связано с формированием поверхностного слоя, в котором образованы благоприятные сжимающие остаточные напряжения и произошло деформационное упрочнение (наклеп) [12,10,8], а трансформированная поверхность отличается меньшей шероховатостью и улучшенным микропрофилем. Особенно это заметно при действии циклической нагрузки, сопровождающейся часто ударом, например, для зубьев пильных дисков хлопкоперебатывающих машин (джины, линтера), деталей батанных механизмов на бесчелночных ткацких станков СТБ и др.

Станки СТБ, являясь наиболее универсальным и совершенным из бесчелночных ткацких станков, широко применяются во всех основных отраслях текстильной промышленности для выработки тканей. Наиболее распространенной неисправностью батанного механизма ткацкого станка СТБ является износ зубьев направляющей гребенки (зубьев батана) (рис. 1) по внутренним контактным поверхностям [13, 2]. Зубья батана являются направляющими при движении нитепрокладчиков через зев, т.е. образуют направляющий канал для прокладчиков утка (микрочелноков), представляющих собой пластину в виде стального полого корпуса с коническим мыском. Небольшие размеры прокладчика (90х14х6,35 мм) и малая масса (40 г) позволяют значительно повысить скорость прокладки утка в зеве (до 22-24 м/с), уменьшить высоту зева и сократить расход энергии на этот процесс.

Рисунок 1. Зуб батана одноименного механизма ткацкого станка СТБ

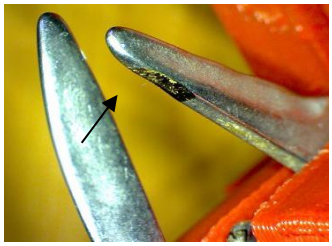


Рисунок 2. Износ внутренних контактных поверхностей зубьев батана

Характерное изнашивание контактных поверхностей зубьев батана в виде лунок износа (рис. 2) происходит при силовом скользящем контакте с нитепрокладчиком утка. Износ зубьев батана наиболее интенсивно происходит на коротком участке зева и представляет некоторую криволинейную поверхность (лунку), что вызвано соответствующим профилем рабочих поверхностей нитепроводника в виде полуцилиндра.

В результате появления лунки износа происходит изменение относительного положения контактных поверхностей пары “нитепроводник – зуб батана” и при высокой скорости скольжения нетепроводника по зубьям батана возникают дополнительные динамические нагрузки в зоне их контакта. Это может привести к возрастанию обрывности нитей основы при ткaнеформировании.

Износостойкость поверхности ответственных деталей технологических машин характеризует их важнейшее эксплуатационное свойство, зависящее от показателей качества изготовления изделий, что напрямую является следствием применяемого технологического процесса при окончательной обработке. Среди тенденций развития современных технологических процессов финишной обработки необходимо отметить такое важное направление, как совершенствование методов механической упрочняющей технологии и распространение их для специальных деталей рабочих органов технологических машин с целью создания высокого качества их поверхностного слоя. В первую очередь это касается упрочняющей

технологии, основанной на поверхностном пластическом деформировании. В результате наклепа (деформационного упрочнения) в поверхностном слое деталей происходят необратимые изменения кристаллических зерен, увеличиваются твердость и плотность дислокаций, формируются сжимающие остаточные напряжения. Эти изменения способствуют повышению износостойкости и сопротивляемости усталостным разрушениям деталей машин. Таким образом, учитывая специфику нарушения работоспособности зубьев батана ткацкого станка, было бы целесообразно использовать метод поверхностного пластического деформирования внутренней поверхности зева с помощью динамической обработки микрошариками в потоке с сжатым воздухом [3, 4].

Критерием эффективности дробеударного упрочнения являются такие параметры качества обработанной поверхности как глубина h_H и степень наклепа (относительное повышение микротвердости). Аналитическое определение глубины наклепа, основанное на анализе процесса соударения недеформируемого сферического индентора с упрочняемой металлической поверхностью, и подвержденное результатами экспериментальных исследований, позволяет использовать его для обоснования режимных параметров и условий дробеструйной обработки.

Толщина (глубина) пластически деформированного (наклепанного) поверхностного слоя, полученного при ударном вдавливании шара, практически равна глубине наклепа, полученной при статическом однократном вдавливании сферического индентора, если выполняется условие равенства диаметра отпечатков. Поэтому зависимости параметров деформирования от толщины наклепанного слоя для случая статического вдавливания могут быть применены и для ударного нагружения.

Глубина наклепа $h_н$ пропорциональная глубине отпечатка h (рис. 3), т.е. $h_н=\alpha h$, где коэффициент $\alpha=2...20$ для различных условий обработки [9]. Глубина наклепка $h_н$ связана с нормальной силой деформирования (контактной нагрузкой) P известным соотношением С.Г. Хейфица

$$h_H = \sqrt{\frac{P}{2\sigma_T}}, \text{мм} \qquad (1)$$

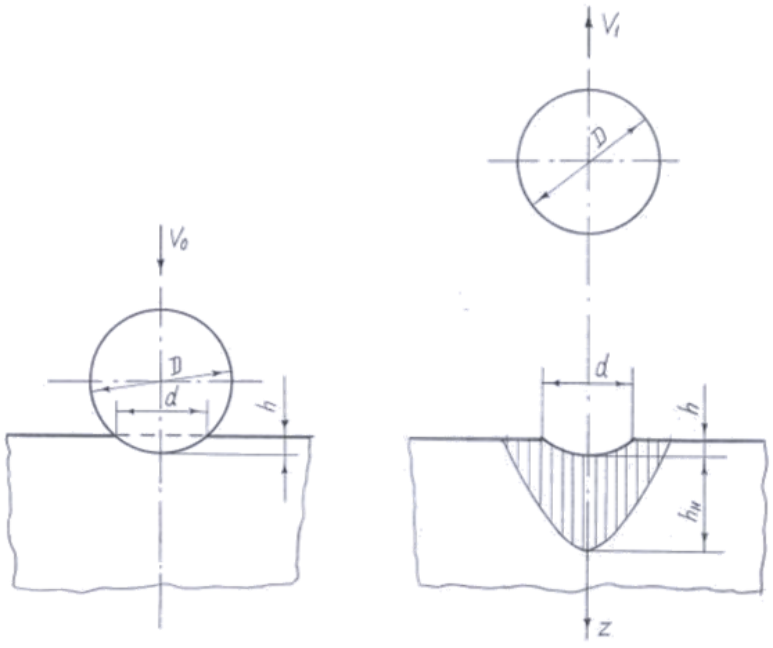
где P - нормальная сила вдавливания, H;

σ_m – предел текучести(физический) обрабатываемого материала Н/мм^2 (МПа).

Формула, предложенная И.В.Кудрявцевым и Г.Е. Петушковым [7], отличается от (1) введением коэффициента m, косвенно учитывающего размеры контактной площадки:

$$h_H = \frac{1}{m}\sqrt{\frac{P}{2\sigma_T}}, \text{мм} \qquad (2)$$

где m=1+0,07R,R-приведенный радиус кривизны контактирующих поверхностей, мм.



а) *б)*

а) упругопластическое взаимодействие микрошарика диаметром D с обрабатываемой поверхностью (d, h – соответственно диаметр и глубина пластического отпечатка); б) формирование упрочненного (наклепанного) слоя толщиной $h_н$ при отскоке ударяющейся дроби

Рисунок 3. Схема единичного контакта при дробеударной обработке

В случае динамического контакта сферического индентора с плоской поверхностью механической преграды (зуба батана) имеем $R=R_{ш}$ - радиус шарика. Поэтому зависимость (2) принимает вид:

$$h_H = \frac{1}{1+0.07R_{ш}}\sqrt{\frac{P}{2\sigma_T}},\ \text{мм} \quad (3)$$

Если отсутсвуют данные по пределу текучести $\sigma_т$, то можно воспользоваться для конструкционных сталей с погрешностью не более ±10% соотношением $\sigma_m \approx HB/3$, где НВ – твердость по Бринелю.

Статическую силу Р (усилие внедрения микрошарика) с достаточным приближением(10..15%) можно определить аналитически. Данное решение для расчета силы вдавливания сферического пуансона (шара) выполнил А.Д.Томленов [6], используя метод характеристик при отсутствии трения по поверхности вдавливания. В соответствии с данным решением статическая сила связана с размером пластического отпечатка формулой

$$P = \omega\pi\sigma_T\left[\left(1+\frac{\pi}{2}\right)r^2 + \left(\frac{R^2}{2}-r^2\right)\arcsin\frac{r}{R} - \frac{r}{2}\sqrt{R^2+r^2}\right],\ \text{Н} \quad (4)$$

где $\omega=1,1$ – коэффициент, учитывающий трение в контакте шар-деталь;

σ_m – предел текучести обрабатываемого материала, МПа;

R – радиус микрошарика, мм;

r - радиус пластического отпечатка, мм.

Радиус пластического отпечатка после однократного соударения можно определить из характеристик упрочняемого материала и режима упрочения [10]:

$$r = 2R\sqrt[4]{\frac{\gamma\vartheta^2}{6gH_{\text{м.дин}}}},\ \text{мм} \quad (5)$$

где γ – удельный вес материала микрошарика, г/см^3;

υ – скорость полета микрошарика, м/с;

g – ускорение силы тяжести, м/с^2;

$H_{м.дин}$ – динамическая твердость обрабатываемого материала, кг/мм^2.

В отличие от статического при ударном вдавливании шара с увеличением числа ударов до 15…20 размер отпечатка для различных условий обработки увеличивается в 1,25…1,55 раз, а затем остается практически постоянным. Поэтому в формулу (5) следует ввести коэффициент k, учитывающий увеличение радиуса отпечатка в результате многократного взаимодействия:

$$r = 2Rk\sqrt[4]{\frac{\gamma\vartheta^2}{6gH_{\text{м.дин}}}},\ \text{мм} \quad (5,\ \text{а})$$

В формуле (5, а) динамическую твердость $H_{м.дин}$ обрабатываемого материала следует выразить через статическую твердость по Бринелю [5]

$$H_{м.дин}=H_D=(1,6\ldots1,7)\ HB \quad (6)$$

Усилие внедрения микрошарика P, связанное с размером пластического отпечатка $d=2r$ (рис. 3), можно также определить из допущения, что среднее давление сопротивления внедрению или среднее давление течения(предел текучести σ_m) на поверхности контактирования остается постоянной. Тогда процесс соударения недеформируемого сферического индентора с упрочняемой металлической поверхностью описывается следующим соотношением, вытекающим из уравнения движения шарика в обрабатываемой среде и параметров пластического отпечатка:

$$P = \pi\rho_0 r^2 = -m\frac{d^2h}{dt^2}, \quad (7)$$

где ρ_0 – давление текучести, предполагаемое постоянным и $\rho_0 = \sigma_m$; m – масса сферического индентора.

Из рис. 3 следует, что радиус пластического отпечатка $r=d/2$ связан с радиусом сферического индентора $R=D/2$ и глубиной отпечатка зависимостью $r^2 = 2Rh - h^2$.

Поэтому при взаимодействии абсолютно жесткой сферы с деформируемым полубесконечным твердым телом выражение (7) принимает вид

$$P = \pi\sigma_T(2Rh - h^2) = -m\frac{d^2h}{dt^2},$$

если пренебречь величиной h^2 ввиду незначительной глубины внедрения h по отношению к диаметру D, то окончательно получим уравнение движения шарика в обрабатываемой среде

$$P = 2\pi\sigma_T Rh = -m\frac{d^2h}{dt^2} \quad (8)$$

или

$$\frac{d^2h}{dt^2} + \frac{D\pi\sigma_T}{m}h = 0 \quad (8,\ \text{а})$$

Решение уравнения (8, а) запишем в виде

$$h = v_0\sqrt{\frac{m}{\pi D\sigma_T}}\cdot\sin\left(\sqrt{\frac{\pi D\sigma_T}{m}}\cdot t\right), \text{ мм} \quad (9)$$

где v_0 – начальная скорость удара, м/с;

t – продолжительность удара (время соударения), с.

Максимальное внедрение (сжатие) микрошарика составит

$$h = v_0\sqrt{\frac{m}{\pi D\sigma_T}}, \text{ мм} \quad (10)$$

когда $\sin\left(\sqrt{\frac{\pi D\sigma_T}{m}}t\right)=1$, т.е. $\sqrt{\frac{D\pi\sigma_T}{m}}+t=\frac{\pi}{2}$,

откуда

$$t = \frac{\pi}{2}\sqrt{\frac{m}{\pi D\sigma_T}}, \text{с} \quad (11)$$

Поставив значение максимального внедрения h из (10) в (8), получим формулу для силы удара

$$P = v_0\sqrt{\pi m D\sigma_T}, \text{ Н} \quad (12)$$

Для практического использования зависимости (12) удобно массу микрошарика m выразить через плотность $\rho_м$ и объем V: $m=\rho_м\cdot V$,

где

$$V = \frac{\pi D^3}{6}.$$

С учетом приведенных соотношений формула (12) принимает окончательный вид

$$P = \pi D^2 v_0\sqrt{\frac{\rho_м\sigma_T}{6}}, \text{ Н} \quad (12, \text{а})$$

Для теоретического определения глубины наклепа h_H в формулу (1) подставим выражение для силы удара дроби (12) и после преобразований получим расчетную формулу

$$h_H = D\sqrt[4]{\frac{\pi^2 v_0\rho_м}{24\sigma_T}}, \text{ мм} \quad (13)$$

С учетом размера микрошарика $D=0,3...0,4$ мм рассчитаем глубину наклепа h_H по данной зависимости при различных скоростях v_0 и пределов текучести σ_T, соответствующих большой группе углеродистых и легированных сталей конструкционного и инструментального назначений. Так, глубина наклепа при следующих данных: $D=0,3$ мм, $v_0=15$ м/с, $\rho_м=7,8$ г/см^3, $\sigma_T=500$ Н/мм^2 составила $h_H=0,058$ мм, что соответствует приемлемой величине, характерной для процесса дробеударного упрочнения.

Вследствие того, что формула (13) с большой степенью достоверности позволяет аналитически определить глубину наклепа h_H, произведена оценка ее зависимости от режимного параметра (скорости дроби v_0) и физико - механического свойства материала (предела текучести σ_T) с целью выявления некоторых закономерностей.

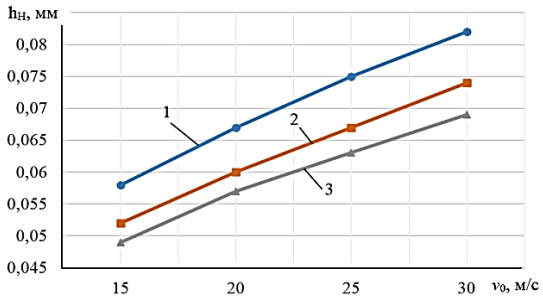


Рисунок 4. Зависимость глубины наклепа h_H от скорости дроби v_0 при различных значениях предела текучести σ_T:
1 – 500 Н/мм^2, 2 – 800 Н/мм^2, 3 – 1000 Н/мм^2

Как свидетельствуют расчетные данные, с увеличением скорости удара v_0 микрошарика глубина наклепа h_H монотонно возрастает (рис. 4) в пределах *40,8 - 42,3%* в зависимости от предела текучести σ_T=*500-1000* Н/мм^2. При σ_T=*500* Н/мм^2 глубина наклепа увеличивается от значений h_H = *0,058* до *0,082* мм, если σ_T=*800* Н/мм^2 – в пределах h_H=*0,052 до 0,074* мм, при σ_T=*1000* Н/мм^2 – глубина наклепа достигает величины h_H=*0,049 - 0,069* мм.

При увеличении предела текучести в два раза (от 500 до 1000 Н/мм^2) наибольшая разница глубины наклепа наблюдается при v_0=*30* м/с и составляет 0,013 мм.

Достоверность расчетных значений глубины наклепа h_H, полученных по формуле (13) проверялась путем сопоставления с экспериментальными данными,изложенными в работе [1]. Так, при дробеструйной обработке титановых силавов (σ_T=*780-1075* Н/мм^2) стальными шариками диаметром 0,5 мм со скоростью v_0=65 м/с глубина упрочнения составила 0,2 мм. Расчетное значение $h_н$по формуле (13) при этих данных составляет 0,18 мм, что составляет относительную разность расчетных и экспериментальных данных 10%, являющуюся вполне допустимой в расчетной практике при проектировании технологических процессов в машиностроительном производстве.

Список литературы:

1. Дрозд М.С., Федоров А.В., Лебский С.А. Выбор режимов дробеструйной обработки, обеспечивающих заданные параметры наклепанного слоя // Вестник машиностроения. – Москва, 1977. -№3. – С. 42-45.
2. Касимов Б.М. Разработка метода повышения работоспособности ткацкого станка СТБ дробесруйной обработкой рабочих поверхностей зубьев батана: Дис. … докт. филос. По техн. наук. – Наманган: НамТИ, 2022.- 141 с.
3. Kasimov B.M., Muminov M.R, Shin I.G. Analytical assessment of the influence of the intensity of technological residual Voltagees in the surface layer of teeth on the durability of Saw blades for gins // International Journal of Advanced Academic Studies, - India, 2020; 2(2): 102-103. ISSN: 2706-8927 (05.00.00; IF 5.12)
4. Касимов Б.М., Муминов М.Р., Шин И.Г. Технологический способ повышения работоспособности батанного механизма станков типа СТБ. - В кн.: «Фан, таълим, ишлаб чиқариш интеграциялашуви шароитида пахта тозалаш тўқимачилик, енгил саноат, матбаа ишлаб чиқариш инновацион технологиялари долзарб муаммолари ва уларнинг ечими». Республика илмий – амалий онлайн тезислар тўплами. Ташкент, 2020 й. 228-232 б.
5. Клейс И.Р., Кангур Х.Ф. Экспериментальное и расчетное определение глубины повреждений от удара сферического индентора // Трение и износ.-Москва,1987. -Т.8.№4-С.605-613.
6. Кравченко Б.А. Теория формирования поверхностного слоя деталей машин при механической обработке. – Куйбышев: КПтИ, 1981. – 90 с.
7. Кудрявцев И.В., Петушков Т.Е. Влияние кривизны поверхности на глубину пластической деформации при упрочнении поверхностным наклепом // Вестник машиностроения. - Москва, 1966. - №7. -С. 41-48.
8. Овсеенко А.Н., Серебряков В.И., Гаек М.М. Технологическое обеспечение качества изделий машиностроения. – М.: “Янус-К”, 2004. –294с.
9. Одинцов Л.Г. Упрочнение и отделка деталей поверхностным пластическим деформированием. – М.: Машиностроение, 1987. – 328 с.
10. Сулима А.М., Шулов В.А., Ягодкин Ю.Д. Поверхностный слой и эксплуатационные свойства деталей машин. – М.: Машиностроение, 1988. – 240 с.
11. Саверин М.М., Дробеструйный наклеп. Теоретические основы и практика применения. - М.: Машгиз. 1955. – 321 с.
12. Суслов А.Г. Качество поверхностного слоя деталей машин. – М.: Машиностроение, 2000. – 320 с.
13. Худых М.И. Ремонт текстильных машин. – М.: Легпромбытиздат, 1991. – 288 с.