مجلة جامعة طرطوس للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (6) العدد(6) 2022
Tartous University Journal for Research and Scientific Studies - engineering Sciences Series Vol. (6) No. (6) 2022

أهمية وتأثير أكواع الأنابيب الفولاذية المستخدمة في نظام النقل البنوماتيكي

م. تالا احمد اسعد*

(تاريخ الإيداع 2022/3/9 . قُبِل للنشر في 2022/6/29)

□ ملخّص□

تتعرض الأنابيب الفولاذية المستخدمة في نقل القمح عبر نظام النقل البنوماتيكي للتآكل وخاصة في منطقة الانحناءات (الاكواع) حيث يعتبر التآكل الاحتكاكي أو تآكل الجزيئات أثناء النقل البنيوماتيكي قلقاً هاماً في الصناعة.

يقوم هذا البحث بدراسة الأشكال المختلفة للاكواع وتأثيرها على عملية التآكل من خلال إجراء محاكاة باستخدام برنامج solid works بحيث تمكنا من تحديد البارمترات التي تحلل التآكل كهبوط الضغط الحاصل في هذه الاكواع ومعامل وقوة الاحتكاك بما يسمح باختيار أفضل الحدود والقيم التي تساهم في تقليل مقدار التآكل قدر الممكن.

وتبين من الدراسة أن تغيير شكل الكوع إلى الكوع المختلط ذو شكل T ادى الى زيادة التآكل ،كما ان استخدام كوع بنصف قطر انحناء اقصر ادى الى نقصان التآكل.

كلمات مفتاحية : بنوماتيكي _ اكواع _ هبوط الضغط _ معامل الاحتكاك_ قوة الاحتكاك_ نصف قطر الانحناء _ نظام الضغط التخلخلي

*عضو هيئة فنية قائمة بالاعمال في قسم هندسة المكننة الزراعية – كلية الهندسة التقنية– جامعة طرطوس .

مجلة جامعة طرطوس للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (6) العدد(6) 2022
Tartous University Journal for Research and Scientific Studies - engineering Sciences Series Vol. (6) No. (6) 2022

The importance and impact of steel pipe elbows used in the pneumatic transmission system

Eng.Tala Assaad*

(Received 9/3/ 2022 . Accepted 29/6/ 2022)

□ ABSTRACT □

The steel tubes used to transport wheat through the pneumatic conveying system are subject to corrosion, especially in the bend area (elbow) where frictional corrosion or abrasion of particles during pneumatic transport is an important concern in the industry.

This research studies the different shapes of the elbows and their impact on the corrosion process through a simulation using the Solid Works program, so that we were able to determine the parameters that analyze the corrosion, such as the pressure drop in these elbows and the coefficient and force of friction, which allows choosing the best limits and values that contribute to reducing the amount of corrosion as much as possible .

The study showed that changing the shape of the elbow to the mixed elbow with a T-shape led to an increase in wear, and the use of an elbow with a shorter radius of curvature led to a decrease in wear.

Keywords: pneumatic - elbows - pressure drop – friction coefficient – friction force- bending radius- pressure system Underbalanced .

* Member of a technical committee on the job in the Department of Agricultural Mechanization Engineering - Faculty of Technical Engineering - Tartous University .

مقدمة :

يلقى النقل بواسطة النواقل الهوائية البنوماتيكية انتشاراً واسعاً في مختلف المجالات الصناعية والزراعية والغذائية حيث يستخدم لتفريغ الحبوب من السفن .إضافة إلى استخدامه في العديد من مصانع معالجة الحبوب ، ولذا فيمكن القول إنه لا تخلو منشأة اقتصادية من وجود ناقل بنيوماتيكي.

وتتلخص عملية النقل البنيوماتيكي بتحرك المادة المنقولة في تيار هواء ضمن أنبوب تحت تأثير ضغط أو خلخلة الهواء على مساحة المقطع العرضي للمادة المنقولة. حيث يمكن أن تصل مسافة النقل إلى عدة مئات من الأمتار وإنتاجية حتى100 t/hour.

ويعتبر النقل البنيوماتيكي طريقة شائعة للتعامل مع معظم المواد الجافة،حيث تنقل المواد عبر خط أنابيب بواسطة نظام هواء ذي الضغط السالب أو الموجب، ومن المنشآت التي تستخدم النواقل البينوماتيكية لنقل الحبوب (قمح) الشركة العامة للمطاحن في طرطوس .

تتعرض خطوط النقل (الأنابيب) إلى تآكل ناتج عن عدة أسباب أهمها هبوط الضغط وسرعة النقل ويكون التآكل في الأكواع وذلك بسبب التغير في الاتجاه، بالإضافة إلى تآكل الأنابيب، وكذلك الأمر بالنسبة للمادة المنقولة (القمح) التي تتعرض للضرر .

هناك دراسات مرجعية كثيرة تتحدث عن آثار وضرر النقل البنوماتيكي على الحبوب بأنواعها وأشكال الاكواع ومقاومتها للتآكل إضافة إلى عرض النتائج التي توصل إليها الباحثون ، فمثلا في عام (2009) م قام باحثون[5] بدراسة تناولت أشكال الاكواع في نظام النقل البنوماتيكي وعرضت المقالة توصيات لتقليل المشاكل في أنظمة النقل البنوماتيكي ، وكيفية اختيار (الاكواع) الانحناءات والاصطدام في موقع الانحناء وتقييم للتآكل عند الانحناءات وتوصلت إلى النتائج التالية :

- الاكواع بنصف قطر طويل ونصف قطر قصير تكون معرضة جدا للتآكل
- كوع غاما، امتداد طويل تملك مقاومة متوسطة للتآكل
- بينما يملك الكوع المصمت ذو شكل tee ، كوع Ell or Hammertek، Smart Elbow وكوع Pellbow ، تصاميم wearback مقاومة عظمى للتآكل

ونظرا لأهمية موضوع التآكل ،ولما له من تأثير على عملية الإنتاج بسبب توقف الإنتاج من أجل القيام بعمليات إصلاح وصيانة واستبدال للأنابيب والذي يرتب تكاليفا" على الشركة ، يقدم هذا البحث نتائج تأثير تغيير شكل الكوع على تآكل الأنابيب .

أهمية البحث، وأهدافه:

تأتي أهمية هذا البحث من كون موضوع التآكل من المشاكل الشائعة التي تعاني منها أي منشأة تستخدم نظام النقل البنوماتيكي ، وما يرافق هذه المشكلة من أعباء اقتصادية وتكاليف إضافية سواء بعمليات الإصلاح والصيانة أو بالوقت الضائع الذي يرافق هذه العمليات ، لذلك تم في هذا البحث دراسة واسعة عن شكل الاكواع وتأثيرها على عملية التآكل التي تحدث للأنابيب الفولاذية المستخدمة في نظام النقل البنوماتيكي

وكذلك إنشاء نموذج محاكاة لنظام النقل البنوماتيكي يساهم في إنشاء تصاميم معقدة تساعد في تخفيض معدل الاهتراء وإعطاء القيم المثالية لأبعاد الاكواع المستخدمة في نظام النقل.

النقل بواسطة الهواء المضغوط

1-وصف لنظام النقل البنوماتيكي: هناك نوعان من أنظمة النقل البنوماتيكية: أنظمة النقل ذات الضغط الفائض الموجب +(دافعة) وأنظمة ذات الضغط التخلخلي السالب- (ساحبة أو ماصة) وسنستعرض مكونات النظام ذي الضغط التخلخلي، كونه هو المستخدم في المطاحن كما يظهر في الشكل (1) :

الشكل (1) نظام الضغط التخلخلي السالب المستخدم في المطاحن

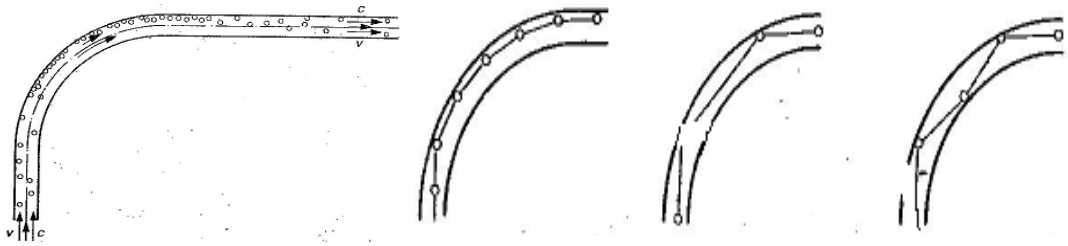
يتكون من : فوهة امتصاص – أنبوب نقل –خزان وفاصل المادة المنقولة عن الهواء – مغذي– محرك توليد هواء،حيث يتم توليد ضغط في الأنابيب ويكون اقل عند الفوهة من الضغط الجوي، فيسحب الهواء المادة المنقولة فتدور المروحة ويتشكل تيار هوائي يسحب المادة المنقولة [1] ، وعندما يصل التيار المزيج إلى جهاز الفرز يدخل بشكل مماسي وتتناقص سرعته نتيجة احتكاك المادة مع الجدران فتنزل المادة للأسفل بتأثير ثقالتها ويخرج الهواء ، حيث يعمل جهاز الفرز على مبدأ فقدان التيار الهوائي لسرعته والقوة اللامركزية المتولدة من الحركة الدورانية لتيار الهواء ،ضغط الهواء من(4–6 at).

2–أهمية الأكواع : تمثل الأكواع احد أهم العناصر المكونة لخطوط النقل البنيوماتيكي فتدخل ضمن التصميم المرن حيث تعطي مرونة في التخطيط و التصميم، فتصنع الأنابيب وتوضع الاكواع بين الأقسام المستقيمة(العمودية والأفقية) ، حيث يمكن إجراء تغيير سهل للاتجاه في تدفق المواد الصلبة المحمولة . [2]

معظم مكونات نظام النقل البنوماتيكي عبارة عن أكواع على الرغم من بساطتها الظاهرة إلا إنها في الحقيقة هي الأقل فهما والأصعب فعلا لمشغلي العملية ، لا يمكن أن نقلل من أهمية الانحناءات في أي مجموعة نقل بنوماتيكي–إذا لم تختر وتصمم بشكل صحيح – وهي يمكن أن تساهم بشكل ملحوظ بهبوط الضغط عموما ،وفي استهلاك المنتج وزيادة صيانة النظام (بسبب التآكل)

1–2 حركة الشحنة(القمح) في منعطف الأنبوب(الكوع) : عند انعطاف الشحنة في الأنبوب فإن القمح ينفصل عن تيار الهواء كما في الشكل (2) حيث أن الهواء يتبع الانحناء بينما يصطدم القمح في جدار الأنبوب بسبب عطالته ، وبهذا يفقد القمح جزءا من طاقته الحركية ، يتابع القمح مسيره في المنعطف حتى خروجه منه حيث يتمكن تيار الهواء من القمح ويشحنه معه مجددا موزعه بانتظام على مقطع الأنبوب. [3]

القسم الأعظمي من القمح ينزلق على جدار المنعطف وبنتيجة النقل المرن فإن قسماً من القمح يصطدم في الجدار الداخلي أو يقفز قفزات متكررة على جدار الأنبوب كما هو موضح بالشكل:



الشكل(2) يبين حركة القمح خلال منعطف الأنبوب

وعند اصطدام حبات القمح بالأنبوب فإن القمح والأنبوب يتعرضان إلى إجهادات صدمية، مما يؤدي إلى كسر الحبات أو تآكلها وبالمقابل يتعرض الأنبوب في التكويع إلى تآكل صدمي.

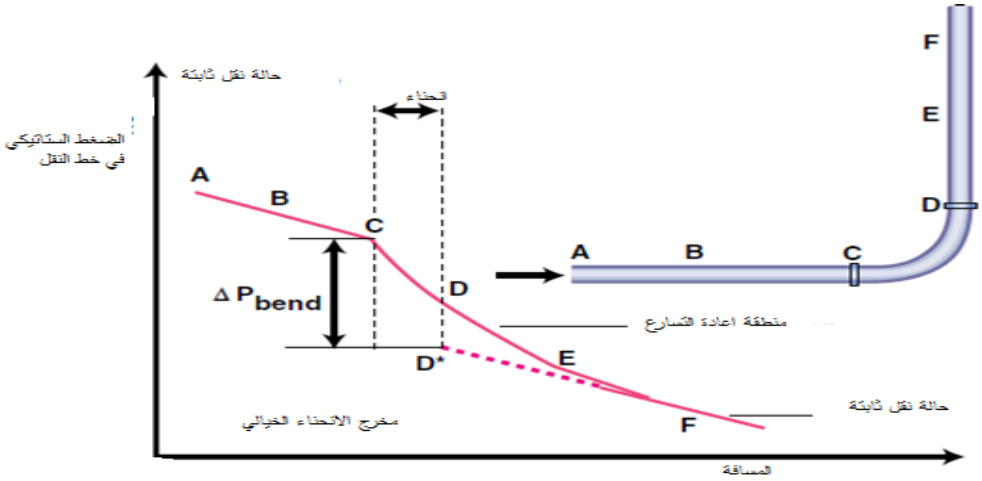
2-2تصنيف الاكواع : يمكن أن تصنف إلى ثلاثة أصناف رئيسية :

1) أكواع بنصف قطر شائع (تتضمن أكواعا"بنصف قطر قصير، نصف قطر طويل وأكواع بامتداد طويل)

2) اكواع مختلطة (تتضمن اكواع ذات شكل(T)).

3) اكواع خاصة وتصاميم إبداعية (مثل اكواع غاما)

3-2هبوط الضغط في الكوع : إن سبب هبوط الضغط الناشئ في الكوع أثناء تدفق هواء- صلب كما في الشكل (3) يعود لمجموعة من الضياع الاحتكاكي في الكوع نفسه إضافة إلى الطاقة المطلوبة لتسريع عودة المادة الصلبة لسرعتها الرسمية الثابتة . يجب ملاحظة معامل الاحتكاك ضمن الكوع ومقارنته مع معامل الاحتكاك في الأقسام الأخرى من نظام النقل، في هذه الأثناء ضياعات إضافية تنشأ في القسم المستقيم (مثلا في العمودي – الأفقي).



الشكل (3): مقطع للضغط الستاتيكي في منطقة الكوع

تعطى علاقة هبوط الضغط في الكوع كالتالي**[2]** :

$$\Delta P_B = B(1+\mu)\frac{\rho_g U_g^2}{2} \qquad (1)$$

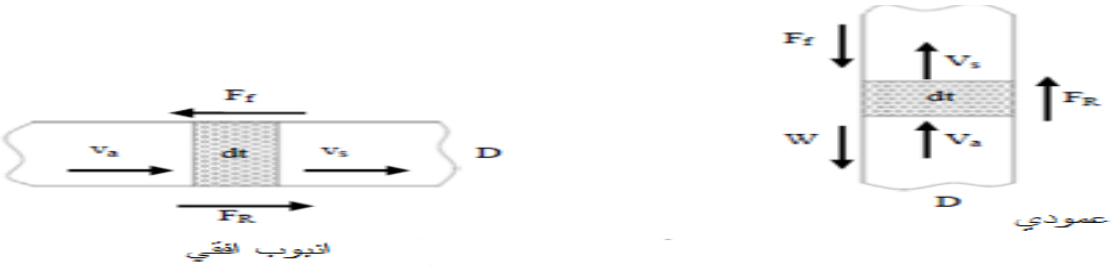
حيث: ΔP_B هبوط الضغط الإجمالي في الكوع،B معامل ضياع الانحناء، μ ثابت الخليط ، ρ كثافة الهواء عند موقع الانحناء ،Ug سرعة الغاز عند موقع الانحناء.

الجدول(1) : تأثير نصف قطر الانحناء على معامل ضياع الانحناء(B) وفق المرجع [2]

$\frac{R_B}{D}$	B
2	1.5
4	0.75
≥6	0.50

3-القوى المؤثرة على المادة المنقولة في الأنبوب:

تتضمن القوى المؤثرة على المواد المنقولة قوة دفع الهواء و قوة الاحتكاك والجاذبية بين جزيئات الصلب والجدار **[4]** ،كما يظهر في الشكل (4)



الشكل (4): النمط الميكانيكي لمجموعة الجزيئات

$$F_R = g.M_S\left(\frac{V_a - V_S}{V_{mg}}\right)^{2-k} \qquad (2)$$

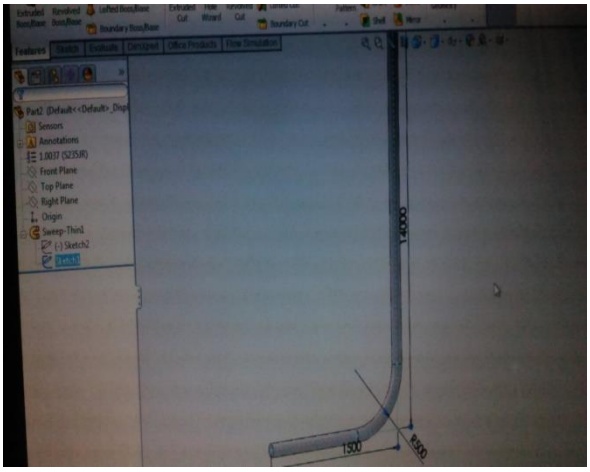
$$F_f = \frac{\lambda_m.V_S^2.M_S}{4.D} \qquad (3)$$

في المعادلات : M_S تمثل كتلة المجموعة الجزيئية ،V_a تمثل سرعة تدفق الهواء بالمتر على الثانية ، V_Sتمثل سرعة الجريان للمادة V_{mg} m/s تمثل سرعة الطفو للمجموعة الجزيئية ،F_R تمثل قوة دفع الهواء، F_f تمثل قوة الاحتكاك في جدار الأنبوب.W تمثل الجاذبية $W=g.M_s$ ، D تمثل قطر انبوب النقل، k تمثل معامل متعلقة بالنقل البنيوماتيكي.

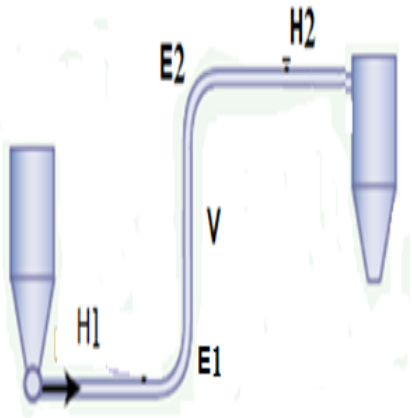
4-إجراء المحاكاة لخط نقل الحبوب flow simulation:

4-1 وصف لنموذج يحاكي واقع الأنبوب في المطحنة :كنا قد تعرفنا على مكونات نظام النقل البنوماتيكي (الماص) بأقسامه وعند إنشاء النموذج سنكتفي برسم الأنابيب الأفقية والعمودية وأيضا الاكواع بالأبعاد المأخوذة من داخل المطحنة، الأنبوب العمودي(v) 14m والأنبوب الأفقي اليساري(H_1) 1m ، والأفقي اليميني الأخير (H_2) 1.5m ،الأنابيب بأقطار خارجية D=100mm وقطر داخلي d= 92mm ،مع اعتبار H_1، E_1،V، E_2، H_2 نقاط قياس على خط النقل كما هو مبين بالشكل (5).

الاكواع من النوع القصير بنصف قطر انحناء(R_B= 500mm) وزاوية قائمة، معدن الأنابيب والاكواع (بالتحليل الطيفي) فولاذ كربوني ST37-2، وبملاحظة أن أنابيب نقل القمح خاصة التي تقع في الطابق السادس من المطحنة لذا وجب التنويه لطول الأنبوب العمودي ،كما طبقنا الضغط الجوي على مخرج الأنبوب والسرعة على المدخل، طاقة المطحنة Q_S=137.5 t/24h=5.7t/h ،الشكل (6) يظهر جزء من النموذج المرسوم .



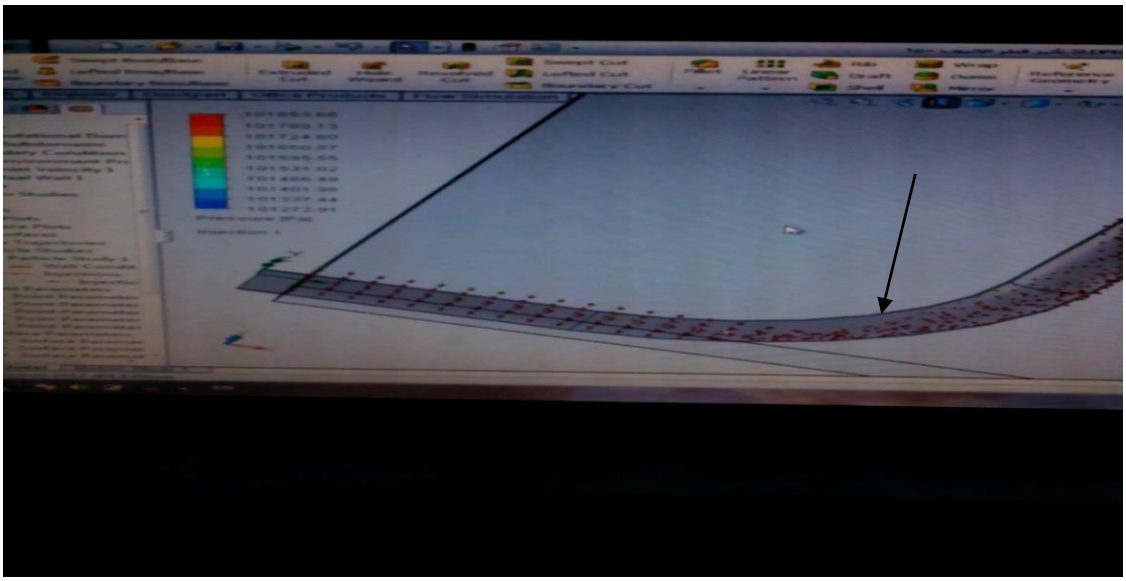
الشكل (6) رسم النموذج



الشكل (5) نقاط القياس المميزة على طول خط النقل

وبعد الانتهاء من الرسم نبدأ بإجراء تجربة التدفق للانبوب بالحالة العامة أولا هواء لوحده ثم حقن الأنبوب بمادة القمح (partical study) أو ما تسمى بالدراسة الجزيئية الشكل (7)

حيث يلاحظ من الشكل(7) حركة القمح داخل الكوع كما يلاحظ وجود اللون الأحمر في هذه المنطقة الدال عليها بسهم وبحسب عمود الضغط المبين الى يسار الصورة فإن الضغط العالي لونه احمر لذلك نجد أن الضغط عالٍ في منطقة الكوع ثم يبدأ بالتناقص على طول خط النقل



الشكل (7)حركة القمح داخل الأنابيب والاكواع

ثم نقوم بحساب البارمترات الاساسية التي تعتبر بارامترات دخل مثل :

1)سرعة النقل تحسب من العلاقة التالية**[2]** :

$$v = 8.5 \times 2.6 = 22.1\ m/sec \quad ; \qquad v = v_{sh} \times \text{ثابت مجموعة النقل}$$

حيث V سرعة هواء النقل و v_{sh} سرعة الحبة العائمة (سرعة التعليق– سرعة الطفو لجزيئة مفردة) حيث أخذت القيم من الجداول (3),(2) التابعة لصفحة المواصفات القياسية المستخدمة في المطحنة :

جدول (2) يبين قيم ثابت مجموعة النقل

نوع النقل	ثابت مجموعة النقل
للنقل الافقي	1.8–2
للنقل العمودي مع كوع	2.2
للنقل الافقي والعمودي مع كوعين	2.4–2.6
للنقل الافقي والعمودي وعدة اكواع	2.6–4

جدول (3) يبين قيمة سرعة التعليق

المادة المنقولة	سرعة التعليق
الكسرة الأولى (قمح)	8.5
الكسرة الأخيرة	7.5
السميد	6
الطحنات الأولى	5.3
الطحنات الأخيرة	4.5

2) النسبة $\frac{R_B}{\mathrm{D}}$:

$$R_B = \frac{L}{\text{زاوية الكوع}} = \frac{78.5}{\frac{\pi}{2}} = 50cm = 500mm, \frac{R_B}{\mathrm{D}} = \frac{500}{100} = 5$$

R_B

حيث قيس L (طول القوس) باستخدام اداة قياس الطول .

R_Bنصف قطر الانحناء

D: قطر الانبوب

3) زاوية الصدم تحسب من العلاقة[3] :

$$\cos x = \frac{1}{1+\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{R}}} = \frac{1}{1+\frac{92}{500}} = 0.844 \rightarrow X = 32.5\,^{\circ}$$

ثم نبدأ بأخذ النتائج حيث يوجد طرق عديدة لتحليل وتحديد بيانات التآكل ،على سبيل المثال ، في دراسات بحثية [3] التآكل يمكن أن يوصف بمعدل الاهتراء erosion (كتلة الانحناء المتآكل لكل وحدة كتلة للمادة المنقولة) ،معدل التغلغل (الاختراق) penetration (عمق التغلغل لكل وحدة كتلة للمادة المنقولة) وعمر الانحناء (الوقت المطلوب لإبطاء منع الانتشار) ، ويمكن أن يوصف بمعامل وقوة الاحتكاك ، كما أن هبوط الضغط يوصف التآكل في أجزاء الناقل فكلما كان هبوط الضغط كبير كانت الطاقة اللازمة لاعادة التسارع وشحن المادة اكبر وبالتالي التآكل أكبر.

يبين الجدول(4) البارمترات التي تقيم مستوى التآكل في الانابيب ونقاط القياس المميزة على طول خط النقل وهي :الضغط على مدخل ومخرج الكوع وذلك من اجل حساب هبوط الضغط في هذه المنطقة–السرعة أيضا على المدخل والمخرج –معامل الاحتكاك –قوة الاحتكاك.

الجدول (4) بارمترات نقاط القياس المميزة على طول خط النقل

نقاط القياس / البارامتر	H1	H1	H1	E1	V	E2	H2
	1	2	3	4	5	6	
الضغط)Pressure [Pa](	102088.29	102067.74	102025.08	101402.93	101392.079	101325	
السرعة)Velocity (m/sec)(	22.1	22.856	22.5123	25.0730	21.7144	22.3077	
Friction Coefficient] معامل الاحتكاك[	0.003743205		0.00407	0.00328	0.00279	0.00378	
Friction Force [N] (قوة الاحتكاك)	0.153680205		0.27721	4.76835	0.25002	0.33164	
هبوط الضغط(ΔP	20.55		42.852	622.15	35.093	42.833	

نلاحظ من الجدول ان الضغط يتناقص على طول خط النقل، على عكس السرعة التي تزداد ابتداء من الانبوب الافقي، لتعود وتتناقص في منطقة الكوع الاول والثاني نتيجة الاصطدام بجدار الكوع ، كما نلاحظ زيادة قوة الاحتكاك وهبوط الضغط والسرعة في الانبوب العمودي كونه منطقة اعادة تسارع اما في الكوع الاول فيظهر قيمة عالية تقريبا لمعامل الاحتكاك .

2-4 تأثير نصف قطر الانحناء وزاوية الصدم : اذا قمنا بزيادة نصف قطر الانحناء للكوع الى قيمة اكبر اختيارية بحيث يكون($\frac{R_B}{D} = 8\ to\ 14$)اي كوع بنصف قطر طويل بدل الكوع القصير المستخدم في نظام النقل في المطحنة لان الكوع بنصف قطر طويل كان الاختيار لمصممي أنظمة النقل البنوماتيكي حيث يؤمن التغير الأكثر تدرجا في الاتجاه للمواد الصلبة وزاوية الصدم تكون اصغر نسبيا مما يساهم في تخفيف التآكل بالإضافة إلى نقص التجارب الأخرى، فتصبح المدخلات للبرنامج كالتالي: R=800mm اخترت حيث $\frac{R_B}{D} = 8$, D=100mm,d=92mm تؤخذ قيمها من المطحنة أما V=22.1m/se محسوبة سابقا ، وزاوية الصدم تحسب من العلاقة :

$$\cos x = \frac{1}{1+\frac{d}{R}} = \frac{1}{1+\frac{92}{800}} = 0.896 \rightarrow X = 26.5^{\circ}$$

وبعد حقن المادة المنقولة نحصل على النتائج التالية المعروضة في الجدول (5)

الجدول (5) بارمترات نقاط القياس لخط نقل بنصف قطر انحناء للكوع (800mm)

نقاط القياس / البارامتر	H1	H1	E 1	V	E2	H2
	1	2	3	4	5	6
الضغط[Pa]	102070	102066	102001	101409	101355	101325
السرعة(m/sec)	22.1	22.224	22.4446	25.071	21.7621	22.116
معامل الاحتكاك	0.00261		0.00408	0.00329	0.00346	0.0038
قوة الاحتكاك [N]	0.0312		0.43611	4.54088	0.40116	0.22531
هبوط الضغط Δp(pa)	4		65	592	54	30

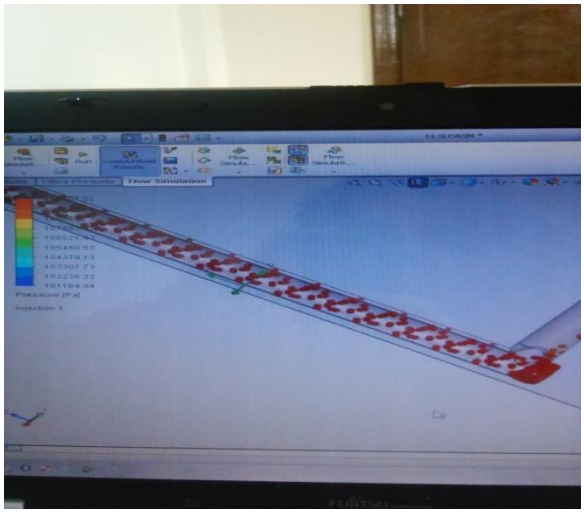
يلاحظ من الجدول(5) كما هي الحال بالتجربة السابقة أن أعلى قيمة لهبوط الضغط وقوة الاحتكاك هي في الانبوب العمودي اما معامل الاحتكاك فيظهر اعلى قيمة له عند الكوع الاول (E_1)، وبإجراء مقارنة للكوع الأول(E_1) كونه هو الأكثر تأثرا بالتآكل في حالة نصفي قطر الانحناء (500mm,800mm) في الجدول (6):

الجدول(6) تأثير نصف قطر انحناء الكوع على البارمترات

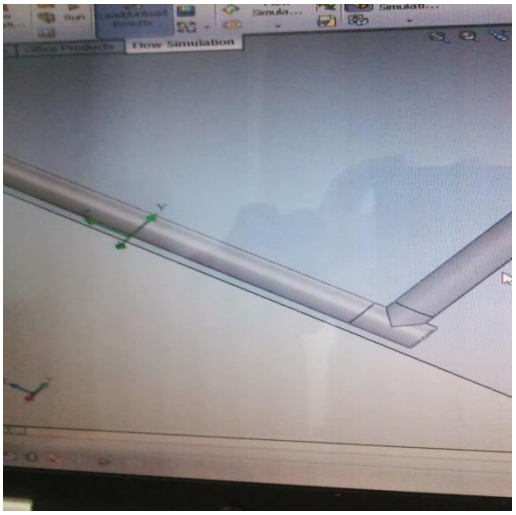
نصف قطر الانحناء(R(mm	500	800
زاوية الصدم(x)	32.5	26.5
معامل الاحتكاك	0.004074118	0.004081536
قوة الاحتكاك[N]	0.277211073	0.436114401
هبوط الضغط(Δp(pa	42.6524	65

حيث نلاحظ انه بزيادة نصف قطر الانحناء تتناقص زاوية الصدم ويزداد كلا من هبوط الضغط وقوة ومعامل الاحتكاك بالتالي ان زيادة نصف قطر الانحناء للكوع إلى قيمة (800mm) سيؤدي إلى زيادة التآكل

3-4 تأثير شكل الكوع : بتغيير الكوع من كوع بنصف قطر انحناء R=500mm إلى كوع ذي شكل T كما هو مبين بالشكل (8)و(9) ،حيث رسم الكوع T مع طرف مسدود وعند حقن المادة ستتراكم مع الوقت داخل الجيب (الطرف المسدود) لتعود وتصطدم الحبات ببعضها لذلك من المتوقع أن يكون للجيب المتراكم اثراً في تخفيض التآكل في الكوع ، ستبقى المدخلات كما هي من سرعة وقطر وسماكة ومعامل احتكاك وبعد التجربة نجد :



الشكل (8)الانبوب مع كوع t مع تدفق للقمح



الشكل (9) الانبوب مع كوع t قبل التدفق

حيث يلاحظ من الشكل تراكم القمح في الطرف المسدود (الجيب) من الكوع T وهذا يقلل من ارتطام الحبوب بجدار الكوع وهذا يمكن ملاحظته من النتائج المعروضة في الجدول (7):

الجدول (7) تأثير شكل الكوع

شكل الكوع	T كوع	كوع بنصف قطر انحناء R=500mm
معامل الاحتكاك	0.007641029	0.004074118
قوة الاحتكاك[N]	0.016333398	0.277211073
هبوط الضغط(pa)Δp	387.3037	42.6524

نلاحظ من الجدول كما هو مبين بالمقارنة بين نظام نقل بكوع T وآخر بكوع قصير نصف قطر انحنائه 500mm أن هبوط الضغط مفرط عند الكوع T وهذا يعود الى صغر زاوية الصدم وتناقص السرعة نتيجة لاصطدام جزيئة مع جزيئة و اصطدام الجزيئة مع الجدار الداخلي للكوع ، والاحتكاك على طول جدار الأنبوب، بحيث تخرج الجزيئات من جسم الكوع بسرعة تكون اخفض من السرعة الثابتة الرسمية، فتظهر الطاقة أو القوة المطلوبة لإعادة التسارع كضياع ضغط بعد الكوع،(كلما كان هناك حاجة لزيادة الطاقة لإعادة تسريع المادة المنقولة كان هبوط الضغط شديدا") ، أي ان التآكل يزداد باستخدام كوع شكل T.

هبوط الضغط فوق الكوع المختلط شكل T يمكن أن يكون بمقدار ثلاث مرات أكثر من عند الكوع بنصف قطر طويل .[3]

أما قوة الاحتكاك فهي اقل عند هذا الكوع بسبب تكون الجيب المتراكم والذي ادى الي تناقص السرعة فيساهم ذلك في تلطيف اصطدام المادة المنقولة.

الاستنتاجات (Conclusions):

- بزيادة نصف قطر الانحناء تتناقص زاوية الصدم ، ويزداد هبوط الضغط مما يؤدي الى زيادة التآكل
- يزداد التآكل عند استخدام نظام نقل بكوع T ،بسبب نقصان زاوية الصدم
- يتناقص التآكل عند استخدام كوع قصير بنصف قطر انحناء 500mm .

التوصيات (Recommendations) :

- استكمال البحث ودراسة اكواع بأشكال مختلفة وبمعدن آخر، كما نوصي بإجراء تجارب أكثر في هذا الموضوع نظرا لغنى الموضوع ومرونة المحاكاة في معرفة تأثير العوامل المختلفة .
- نوصي بتصميم آلة نموذجية

المراجع:

1- الحموي لطيفة ،2012، الآت النقل (مبادئ وأساسيات)،منشورات جامعة تشرين ،كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية.

2- *Dhodapkar*, Sh; Solt, P; Klinzing, G . Understanding Bends In Pneumatic Conveying Systems, Solids Processing, april 2009.

3 Siegent,W.Pneumatische Forderung, Fachbuch Vogel,2002**.**

4- Silin,CH;Xudong,Y; Shi, Q; Huan,Y; Danb,Y.study on Speed Characteristic of Material in Pipe Pneumatic Conveyor. Procedia Engineering 29(2012)3276-3280**.**