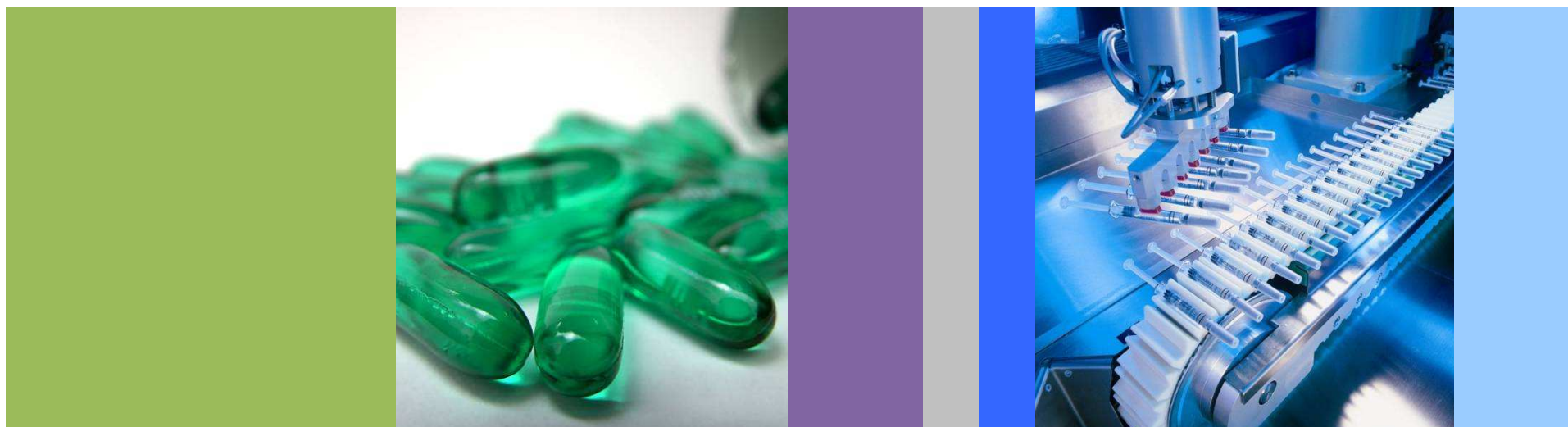




טבע תעשיות פרמצבטיות בע"מ



שיפורי בטיחות בצנטריפוגות

דורון גודר,
מחלקת הנדסת תהליך,
TAPI, טבע.

16.06.2010

מקרה שהיה:



- במרץ 2005, במהלך משמרת לילה אירע פיצוץ ובעקבותיו דליקה נרחבת במתקן ייצור.
- הפיצוץ והדליקה החלו מצנטריפוגה מדגם פריקה עילית





- המפעיל במהלך האירוע נפגע באופן בינוני מכוויות ונזקק לאשפוז ממושך.
- התפשטות הדליקה מהצנטריפוגה לשאר המתקן גרמה לנזקים חמורים
- עלות ישירה של הנזק מעל \$7M

התנאים לתחילת האירוע



התוף המצופה עם סימני פיח

- הצנטריפוגה: FERRUM 1200x600 מנירוסטה מצופה HALAR מבודד.
- ממס התהליך: תרחיף מוצקים אורגניים בטולואן.
- שלב תהליך: הזנה, לאחר 2 מחזורי הזנה קודמים (עוגת סינון גבוהה)



משקולת איזון - גוף מתכת "צף"



- אטימות המערכת: אינה עומדת בקריטריונים הנדרשים למערכת Gas tight (אטם מכסה, ציר ואטם ראשי, מיסבים). לא הוגדר קריטריון לאטימות.
- מערכת חינוקון משותפת עם ציוד אחר בלחץ נמוך וללא משוב.
- קריטריון תפעולי לחינוקון הנו זמן ללא מדידת ספיקה או לחץ.
- על לחץ בצנטריפוגה אינו מבוקר.

**המערכת אינה עונה על דרישות
המינימום בתקנים החדשים!!!**

מה קרה????

- סל מצופה + חומר אורגני אל מימי + ממס מבודד בתנועה במהירות גבוהה + רסס טיפות = מטענים סטטיים מצטברים בלא מקור לפריקה רציפה.
- צינור אספקת חנקן סתום = בחלל הצנטריפוגה יש אוויר בריכוז חמצן גבוה (סף הצתת טולואן ב 8% חמצן).
- פגם בציפוי מהווה קולטן במרחק משמעותי – פריקה באנרגיה גבוהה מתרחשת כאשר המטען פורץ מהעוגה לקולטן (סבירות גבוהה לפריקת ליכטנשטיין).
- עלית לחץ חדה בחלל הצנטריפוגה בעקבות הצתת האדים בחלל – הוונט אינו מתאים (למעשה אינו קיים).



עלית לחץ ניכרת – מחבר
גמיש נתלש משני קצותיו

אינרטיזציה לקויה:
צנרת אספקת חנקן פקוקה בחומר
שהתגבש

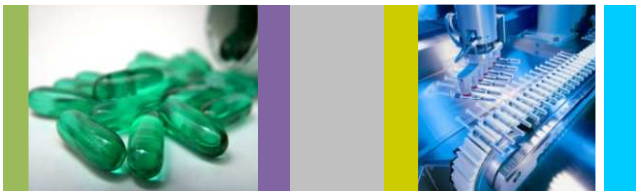


- דלק – אדי הממס הקיימים בחלל הצנטריפוגה. הזנה, מהירויות גבוהות, מעבר דרך בד הסינון הנם מרשם בטוח לקצבי אידוי מוגברים. התסנין נמצא במצב טיפות / אירוסול בין התוף לגוף הצנטריפוגה.
- הנחת עבודה: אדים בריכוז נפיץ קיימים תמיד.
- לחץ אדי הממס = לחץ אדים במצב אטמוספרי.



משולש הכשל (2): יצירת מטענים

- מהירויות סיבוב גבוהות יוצרות חיכוך משמעותי בנוזל.
 - זרימת הנוזל בקפילרות של העוגה במהירות גבוהה = טורבולנציה.
 - מעבר הנוזל דרך בד סינון סינתטי
 - הנוזל מותז בצורת טיפות ורסס מהתוף המסתובב לגוף הצנטריפוגה.
- בכל אחת מנקודות אלו יש פוטנציאל ליצירת מטענים סטטיים ברמת אנרגיה גבוהה.**



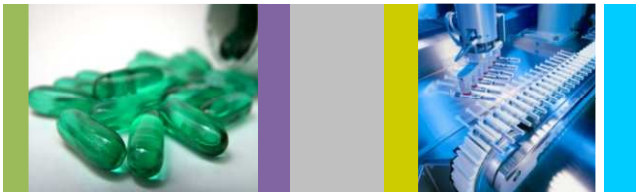
משולש הכשל (3): קולטני מטענים

- קולטן למטענים: גוף הצנטריפוגה, התוף, ציר הסיבוב ואביזרים רבים נוספים הם מתכתיים ובעלי מסה (וקיבול) גבוהה. אלו מהווים קולטן פוטנציאלי גם אם החיבור הגליוני שלהם להארקה לא קיים.
- בכל צנטריפוגה ישנם חלקים בעלי צורה זוויתית (סכין גירוד, גשש עובי עוגה, צינור הזנה וכו') המהווים קולטן מרכז, אלו בעלי פוטנציאל גבוה מאוד למשיכת מטען אליהם (ריכוז מטענים).
- במשטחים מצופים ציפוי מבודד הפגמים מהווים קולטן.



הגוף המתכתי (מוארק) מהווה קולטן מטענים מזדמן
הפגם בציפוי בעל פוטנציאל גבוה כקולטן.

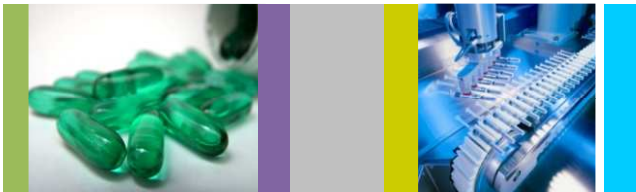




תיאור תאונה בארה"ב משנת 1998

מאמר שפורסם ע"י חברת Chilworth

- צנטריפוגה מתכתית סיננה תרחיף של מוצקים ב Heptane
- הצנטריפוגה מופעלת כבר מספר שנים ללא בעיות חריגות בתהליך זה.
- לצנטריפוגה אין מערכת אינרטיזציה, לפני תחילת הסינון המפעיל פותח ברז חנקן למשך מספר דקות, סוגר את הברז ולאחר מכן מתחיל לבצע הזנה.
- בעת האירוע האמור, הצנטריפוגה סיימה הזנה ועצרה. המפעיל פתח הצצה במכסה כדי לבדוק את עובי העוגה.
- עם פתיחת פתח ההצצה היה פיצוץ נפחי בחלל הצנטריפוגה. למעט סימני פיח אין נזק למפעיל ולציוד.



תיאור תאונה בארה"ב משנת 1998

- תחקיר האירוע בדק את בגדי המפעיל והנעליים, נמצא כי נעלי המפעיל בעלי מוליכות טובה שפרקה את המטענים שעל גופו לרצפה.
- ריכוז אדי ה Heptane חושב, בלחץ וטמפ' הסביבה ריכוז האדים היה כ 5% מנפח הגז. ריכוז זה קרוב מאוד ל UEL של הממס (5.8%).
- Heptane הוא נוזל בעל מוליכות נמוכה מאוד, טמפ' הסביבה גבוהה מה Flash point.
- מסקנת החוקרים, בהתבסס על עקבות הפיח הניחה כי פתיחת חלון ההצצה יצרה דילול של האדים לרמה קרובה לדליקות מקסימלית (כ 3%) – הדלק, והקולטן היה גוף המתכת של חלון ההצצה עצמו.

- צנטריפוגה המסננת נוזל דליק כוללת תמיד אדים המהווים דלק.
- בסיס העבודה של הצנטריפוגה יוצר מטענים אלקטרוסטטים בקצב גבוה.
- בצנטריפוגה תמיד ימצא קולטן למטענים
- ציפויים מבודדים אינם מונעים קליטת מטענים, בד"כ מהווים סיכון גבוה יותר בפגמים.



- מערכת אינרטיזציה תקנית היתה מונעת בוודאות את שתי התאונות ודומיהן על ידי מניעת חמצן.
- זמן השהייה סביר לפני פתיחת צנטריפוגה יאפשר למטענים לפרוק לגוף הצנטריפוגה. ככל שהנוזל בעל מוליכות נמוכה ותר זמן הפריקה מתארך.
- רצוי שכל משטחי המכונה יהיו מוליכים עם חיבור גליוני להארקה.
- במידה שציפוי נדרש יש להעדיף ציפוי מוליך.
- יש לנקוט משנה זהירות בנוזלים שה Flash point שלהם נמוך מטמפ' הסביבה.

מניעת הצתה בצנטריפוגה המסננת נוזלים דליקים יכולה להיות
אך ורק על בסיס מניעת חמצן – אינרטיזציה.



יוצאים מהכלל חומרים שתוצרי הפירוק שלהם הנם מחמצנים
(פירוקסידים, פירופורים וכו'). בחומרים אלו מומלץ להימנע
משימוש בטכנולוגיה מסוג זה.

- סינון ממס דליק בצנטריפוגה מגדיר את סיווג האזור לחלל התהליך כ IEC II 1G/2D
- מערכות הבטיחות של הצנטריפוגה נדרשות לעמוד ברמת אמינות SIL 2
- צנטריפוגה לחומרים דליקים מחויבת לעמוד בדרישת Gas tight
- מערכת האינרטיזציה תכלול לפחות שני אינטרלוקים בלתי תלויים (Redundancy) המפסיקים את פעילות הצנטריפוגה.

- מערכת אינרטיזציה נדרשת לקבע 4 פרמטרים:
 - רמת חמצן בחלל הצנטריפוגה (בד"כ $<5\%$) מומלץ לדגום בנקודה הרחוקה ביותר.
 - על לחץ בחלל הצנטריפוגה ($<2\text{mbarg}$), נמדד ישירות על הצנטריפוגה קרוב למרכז הסיבוב.
 - ספיקת חנקן מקסימלית (בהתאם לנפח המערכת) קריטריון דליפות לסביבה. נמדד על קו האספקה הסופי לצנטריפוגה
 - תנאים מספיקים לאישור עבודה של הצנטריפוגה – אישור מנוע ראשי והזנות.

		לחץ $>2\text{mbar}$	חמצן $<5\%$
זמן אינרטיזציה מינימלי	הגבלת ספיקה מקסימלית		לחץ $>2\text{mbar}$ $2\times$
זמן אינרטיזציה מינימלי	הגבלת ספיקה מקסימלית	ספיקת מינימום	לחץ $>2\text{mbar}$

* כל המכשור בעל אישורי Safety equipment



אינרטיזציה של אטם ראשי ומיסבים

- אטם הציר (Lip seal) נדרש לחנקן בלחץ הגבוה מלחץ הצנטריפוגה
אופציה 1: לחץ הזנה לאטם 200-400 מיליבר
אופציה 2: ספיקת חנקן קבועה של 2-10 ליטר/דקה
- מומלץ לחנקן את בית המיסבים של הציר (מיסב ראש בצנטריפוגה אופקית)
לחץ חנקן צריך להיות שווה או גבוה מלחץ הצנטריפוגה.



עבודה בטוחה.