

## פרק חמישי

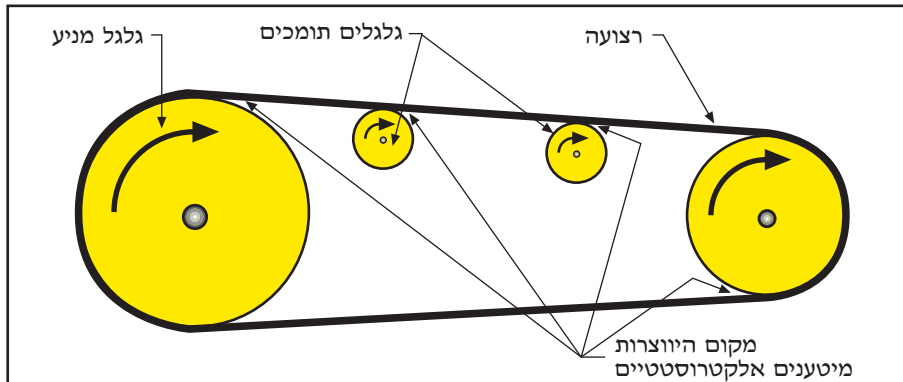
# סיכוני פריקה אלקטרוסטטית בתהליכים מסחריים ותעשייתיים

## רצועות הינע וסרטי מסועים

רצועות הינע וסרטי מסוע, העשויים גומי או עור, יכולים לגרום לטעינה על-ידי חיכוך והפרדה ולהצתת אטמוספירה דליקה, אבק וסיבים, עקב פריקה אלקטרוסטטית.

### רצועות שטוחות

רצועות שטוחות העשויות גומי או עור הן, בדרך כלל, יבשות ומבודדות חשמלית. חימום הרצועה, עקב החיכוך בגלגלי התמיכה וההינע, גורם להתייבשות הרצועה. מיטענים סטטיים נוצרים כאשר הרצועה לא נוגעת בגלגל ההינע/גלגל המתיחה. טעינת גלגלי התמך תיתכן בין אם הגלגלים עשויים מחומר מוליך או מחומר מבודד. למניעת טעינה אלקטרוסטטית יש להשתמש ברצועות העשויות מחומר מוליך או מחומר המפזר מיטענים. על מסועי הענק במסוף הפחם באשדוד נערכו בדיקות הולכה חשמלית. המסועים כללו 4 סוגים שונים של סרטי מסועים מגומי. הבדיקה העלתה שכל הרצועות הן מחומר מוליך ( $10-50 \text{ k}\Omega$ ).  
איור 37 מדגים את תהליך היווצרות המיטענים הסטטיים במסוע רצועה.



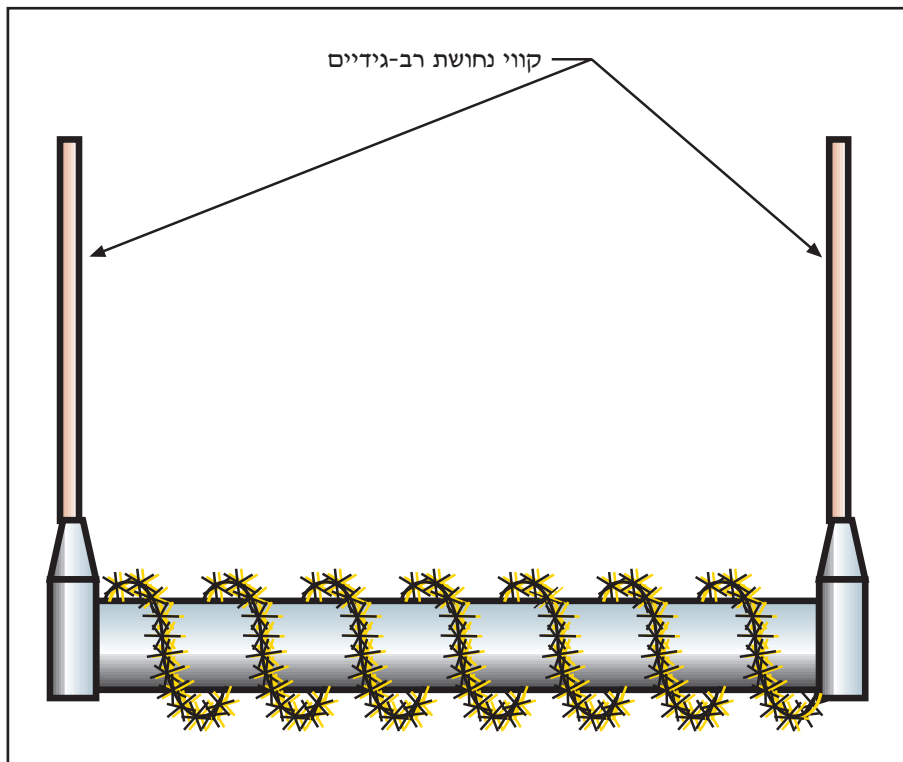
איור 37: היווצרות מיטענים אלקטרוסטטיים במסוע רצועה

### רצועות V

בדיקות שנעשו על עשרות רצועות V הראו שרוב הרצועות הללו עשויות מחומר מפזר מיטענים סטטיים. תוצאות אלה מלמדות שיצרני הרצועות וסרטי המסועים משתמשים בחומר הכולל תוסף מוליך או מפזר. מומלץ לוודא, בעלון היצרן או על-ידי בדיקה חשמלית, שהרצועות הן אכן בעלות תכונות אנטיסטטיות.

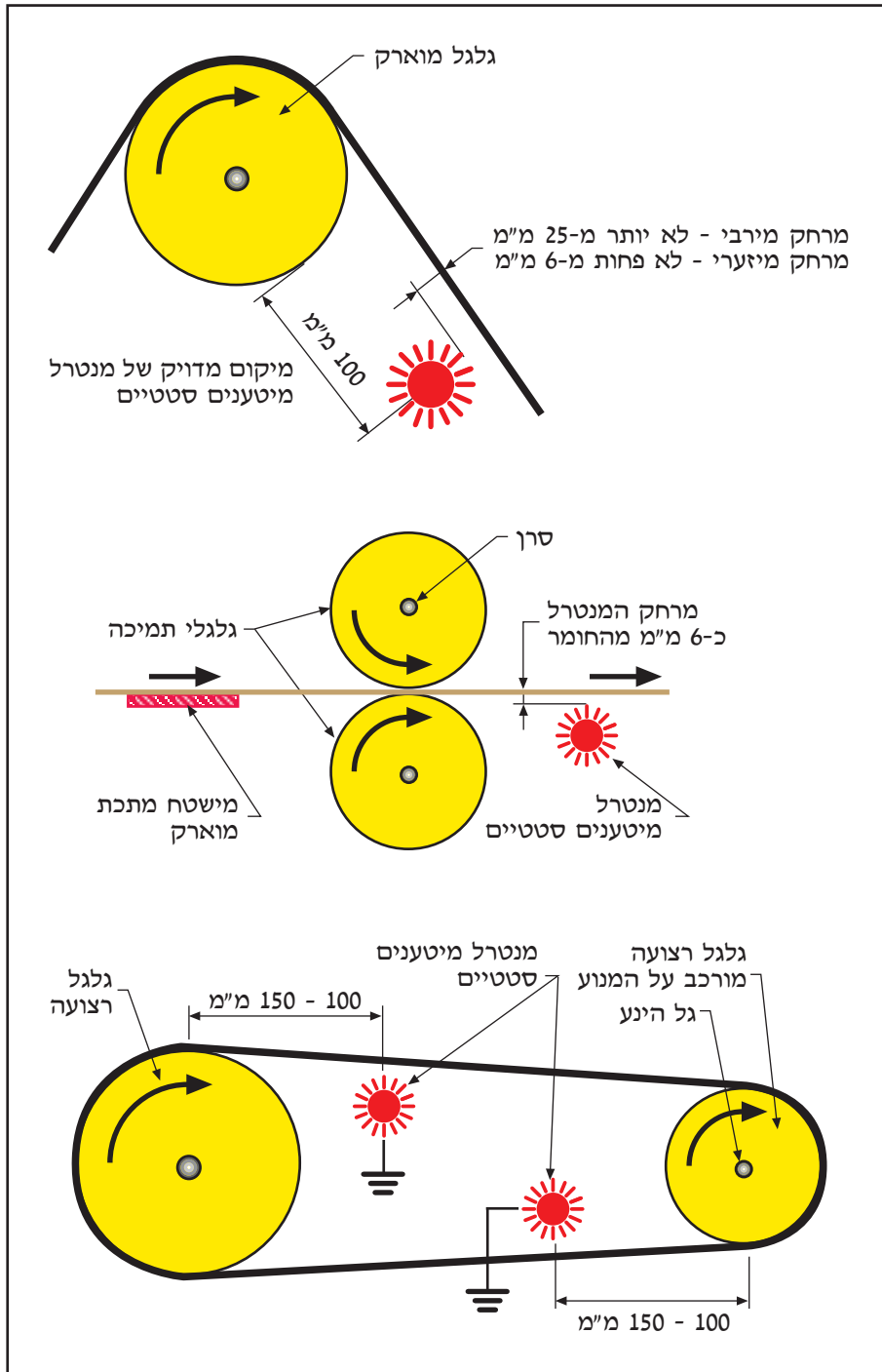
לעתים, הרצועות אינן רכיב השייך למכונה אלא הן המוצר עצמו, המשוע על גבי גלגלי תמך וגלגלי הינע, לדוגמה: ייצור יריעות פלסטיק או צביעת בדים סינתטיים. כאשר המוצר (הסרט) עשוי מחומר סינתטי מבודד נוצרים מיטענים סטטיים רבים, הגורמים לתקלות בייצור. קיימת גם סכנה של פריקת הבזק דרך אדי ממיסים. ניתן לפרוק את המיטען הסטטי על-ידי התקנת מברשות פריקה אלקטרוסטטית בנקודות קרובות לגלגלי ההינע והמתיחה, כמוצג באיור 39. דוגמה למברשות פריקה אלקטרוסטטית מוצגת באיור 38.

בבדיקות שערך המחבר, לקביעת יעילות הפריקה הא"ס באמצעות מברשות מוארקות, התברר שישנם חומרים - כמו פוליפרופילן - אשר אינם משחררים את מיטענם הסטטי דרך מברשות. במקרים כאלה ניתן לנטרל את המיטען הסטטי באמצעות מיינני אוויר, המפיחים אוויר מיונן על פני המוצר הטעון וגורמים לפריקת המיטען הסטטי באמצעות איחוד מיטענים חיוביים ושליילים.



איור 38: מברשת פריקה אלקטרוסטטית

בתהליכים שבהם קיימות מספר דרגות של הינע ומספר גלגלי תמך/גלגלי הינע, ייוצר המיטען הסטטי מחדש בכל נקודה בה קיים חיכוך בין הרצועה המבודדת לבין חלקי המכונה. לפיכך, יש לאתר את הנקודות שבהן נדרש להציב אמצעי לניטרול מיטענים אלקטרוסטיים ולבדוק את יעילותו.



איור 39: התקנת מברשות פריקה אלקטרוסטטית לניטרול מיטענים סטטיים מחומרים מבודדים

## גלגלי רצועה, גלגלי תמיכה, גלים וסרנים

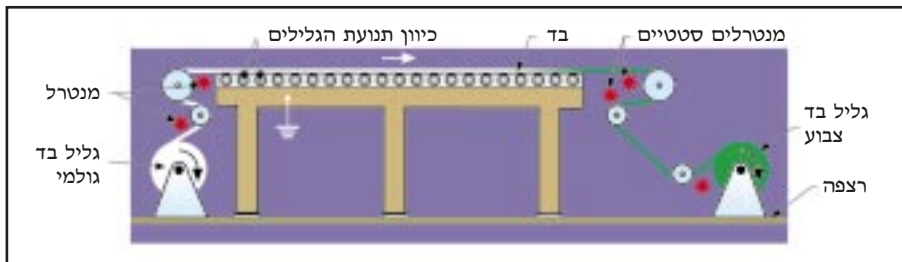
גל וסרן (בשפה עממית "ציר") דומים בצורתם, שהיא, בדרך כלל, מוט עגול אשר עליו מורכב גלגל. הגל מקבל/מעביר מומנט סיבוב ואילו הסרן מהווה ציר שסביבו נעים/סובבים חלקים באופן חופשי.

המיטען הסטטי שנוצר ונצבר בגלגלי רצועה ובגלים, שווה למיטען הסטטי שנוצר ברצועות ההינע אך הפוך בסימנו. המיטען הסטטי מועבר מהגלגל התומך לסרן שלו וזורם משם לאדמה דרך המיסבים וגוף המכונה. במקרים מיוחדים, שבהם נעשה שימוש בחלקי מתכת מבודדים, יש צורך לגשר את החלקים אלה באמצעות מגשרי נחושת אל חלקי מתכת מוארקים.

גירוז ושימון מיסבים אינו פוגם במוליכות ומאפשר זרימת מיטען סטטי מהציר אל גוף המכונה. אולם, מיסבים הפועלים במהירות סיבוב גבוהה במיוחד - יכולים לבודד, חשמלית, את הגל או הסרן מגוף המכונה. התוצאה: צבירת מיטען סטטי בחלקים אלה ובמיסביהם. במקרים כאלה יש לבצע גישור בין הציר לבין גוף המכונה המוארק, באמצעות מגעי החלקה מתאימים.

## ציפוי, צביעה והספגה (אימפרגנציה)

הפעולה העיקרית בתהליכי ציפוי, צביעה והספגה היא התזת נוזלים, או תרסיסי צבעים, ממיסים וכימיקלים שונים. קיימות מספר שיטות לצביעה ולהספגה ובכולן מתרחשים תהליכים דינמיים של חיכוך והפרדה היוצרים מיטענים סטטיים. איור 40 מדגים מכונה לצביעת בדים הכוללת מנטרלי מיטען סטטי.



איור 40: מכונה לצביעת בדים - הארקה והתקנת מנטרלי מיטענים אלקטרוסטטיים

המיטען הסטטי שנוצר על מישטח החומר הנצבע או המוספג תלוי במידה רבה בסוגי החומרים שמהם עשויים גלילי המכונה. ניתן להקטין באופן ניכר את היווצרות המיטען הסטטי - בבחירה נכונה של החומרים אשר מהם עשויים הרכיבים הדינמיים של המכונה. שימוש בחלקים עשויים מחומר מוליך עדיף על שימוש בחלקים מצופים בחומר מבודד. העובדים - המפעילים את המכונות אשר יוצרות מיטען סטטי - חייבים לנעול נעליים בעלות סוליות מחומר המפזר מיטען סטטי. גם מישטחי הדריכה סביב המכונה צריכים להיות מצופים בחומר מוליך או מפזר מיטענים. אם בתהליך העבודה מתכסים מישטחי הדריכה בחומר מבודד, כגון שיכבת צבע (תופעה שכיחה בכל מצבעה) - יש להקפיד על שיגרת ניקוי יומי של המישטחים ועל הסרת הציפוי המבודד (הצבע).

כאשר חלק מחומרי הגלם המשמשים בתהליך הם נוזלים דליקים - יש לנקוט באמצעים שונים למניעת הצתה של תערובת אדים-אוויר הנוצרת באזור מיתקן הייצור. למניעת הצתה עקב פא"ס יש להשתמש בפורקי מיטען סטטי, כמוצג באיור 39. חשוב למקם את פורקי המיטען בנקודות שבהן נפרדים המוצר/רצועות ההינע מגלילי ההנעה/התמיכה.

יש לוודא את יעילות ניטרול המיטען הסטטי באמצעות מד שדה סטטי, ולהשתמש, לפי הצורך, במיינני אוויר אקטיביים (חשמליים או רדיואקטיביים). יש לגשר חלקי מתכת צפים חשמלית אל חלקי מתכת מוארקים באמצעות מגשרי נחושת או מגעי החלקה. מכוונות הפועלות בהנעה פניאומטית או הידראולית אינן מצוידות בהארקת הגנה וצריך להאריקן אל הארקת היסוד של המבנה. לשם כך, יש לחבר מגשר נחושת בין גוף המכונה לבין שלוחת הארקה קרובה. יש להבטיח התנגדות כללית להארקת היסוד, נמוכה מ-1MΩ.

במיתקנים שנעשה בהם שימוש בנוזלים דליקים ונדיפים - יש לספק איורור נאות, אשר ידלל את ריכוז האדים אל מתחת לגבול הדליקות.

אם לחות האוויר איננה מזיקה לתהליך, מומלץ לשמור על לחות יחסית של 50% לפחות. לשם כך ניתן להשתמש במערכת הרטבת אוויר המובנית בתוך מערכת מיזוג-האוויר, או להשתמש בסילוני קיטור המופנים לכיוון האזורים במיתקן היוצרים מיטענים סטטיים.

יש למקם מיכלי ממיסים במרחק בטוח מאזור הייצור. לאחסנת-ביניים חייבים להשתמש במיכלים אטומים היטב. יש להשתמש במערכת סגורה להזרמת הממיסים ממכל האחסנה אל מיתקן הייצור.

## ענף הדפוס

בתהליכי הייצור בתעשייה זו מתעוררות בעיות קשות הקשורות בנוכחות מיטענים אלקטרוסטטיים במכוונות ההדפסה ובחומרי הגלם. בעיות הבטיחות קשורות במיוחד להתהוות מיטענים סטטיים במכוונות דפוס שבהן משתמשים בממיסים ובחומרי הדפסה דליקים.

### נייר

האיכות של פני שטח הנייר המשמש להדפסה משפיעה מאוד על כמות המיטען הסטטי שנוצר בתהליכי ההדפסה על הנייר. מיטען שנוצר ב"חיכוך והפרדה" יכול להיווצר בתהליכים כגון קיפול; חיתוך; ניקוב; הדבקה; הספגה; הידוק; הדפסה; איסוף ואריזה. ככל שלחות הנייר גבוהה יותר - כמות המיטען הסטטי שנצבר בחומר נמוכה יותר, בהתאמה. הבעיות העיקריות של מיטענים סטטיים מופיעות כאשר נעשה שימוש בנייר הידרופובי (דוחה לחות), בחומרים סינתטיים (כגון פוליפרופילן, לקסן, ויניל וכיו"ב) או כאשר טמפרטורת המוצר גבוהה מטמפרטורת הסביבה.

להגברת הלחות באוויר יש גם צד שלילי: ספיגת לחות בנייר עלולה לפגוע באיכותו. הלחות מפחיתה את הגמישות הטבעית של הנייר ומאריכה את הזמן הנדרש לייבוש הדיו.

### דיו

הדיו המשמש להדפסה וליטוגרפיה מכיל כמות קטנה של ממיסים בעלי נקודת הבזק בתחום הטמפרטורות  $140^{\circ}\text{C}$ - $200^{\circ}\text{C}$ , כך שכמעט אין סכנה להצתת האדים הנוצרים מנידוף הכימיקלים מתוך הדיו. במהירויות הדפסה גבוהות - יש צורך להשתמש בדיו המכיל ממיסים בעלי נקודת הבזק נמוכה מאוד, בין  $5^{\circ}\text{C}$  לבין  $50^{\circ}\text{C}$ . במהירות הדפסה גבוהה נוצרים מיטענים סטטיים רבים ואדים של ממיס דליק בריכוז מסוכן. סכנת הצתה עקב פריקה אלקטרוסטטית, או עקב גורמי הצתה אחרים, גדולה אז במיוחד. במקרה כזה יש להשתמש במינדף לסילוק יעיל של האדים הנוצרים באזור מכונת הדפוס.

### מכש הדפוס

כאשר הנייר עובר תחת מכש הדפוס נוצר מיטען סטטי ניכר. המיטען הסטטי נוצר, למעשה, בכל תהליך ההדפסה - החל בשלב הזנת החומר למכונה וכלה באיסוף המוצר המוגמר. כאשר הנייר המוזן למכונת הדפוס עשוי מחומר סינתטי, המיטען הסטטי שנוצר יהיה גדול פי כמה ממיטען סטטי שיווצר בהדפסת נייר מחומר טבעי.

השיטה הנפוצה לפיזור מיטענים סטטיים ממכונות דפוס היא הארקת המכונה וגישור כל חלקי המתכת. הארקה בלבד איננה מספיקה, ונדרש להשתמש במנטרלי מיטען סטטי, כמוצג באיור 38. ניטרול המיטען הסטטי מהנייר בנקודה אחת אינו מונע היווצרות וצבירת מיטען סטטי בנקודה אחרת סמוכה, שבה הנייר נתון לתהליכים יוצרי חשמל סטטי. משום כך, בדרך כלל, יש צורך להתקין מנטרלי מיטען א"ס במספר נקודות, כמוצג באיור 40.

במכונות דפוס להדפסה מהירה מומלץ שימוש במיינני אוויר אקטיביים, בעלי ספיקת אוויר מיון, המספיקה לניטרול המיטען הסטטי שנוצר בנייר המוסע לאורך מכונת הדפוס. חשוב מאד למקם את מיינני האוויר/מנטרלי המיטען בצורה נכונה בנקודות קריטיות במכונה. ניתן לעשות זאת על בסיס ניסוי וטעייה, ומדידת תוצאת ניטרול המיטענים הסטטיים במד-שדה סטטי. יש לשמור על ניקיון מברשות הפריקה - יעילות הפריקה תלויה בניקיון.

הגברת לחות האוויר מסייעת, כאמור, בניטרול מיטענים סטטיים. רמת הלחות הדרושה תלויה בתכונות הנייר ובטמפרטורת המכונה. הלחות היחסית הרצויה יכולה להיות בתחום שבין 45% ל-60%. כאשר הנייר הוא הידרופובי, אין תועלת בהגברת לחות האוויר. כך גם כאשר טמפרטורת החומר במכונה גבוהה מטמפרטורת הסביבה, או כשתהליך ההדפסה מתקיים במקום סגור, שאינו נגיש ללחות החיצונית של האוויר.

סביב מכונות דפוס הפולטות אדי ממיסים, ובמיוחד סביב מכונות דפוס מהירות, צריך להתקין מערכות איוורור יעילות לסילוק ולדילול האדים. מקובל גם שימוש בהזרמת אוויר יבש דרך מכונת הדפוס, וסילוק האדים דרך מינדף מיוחד. טכניקה זו משפרת את בטיחות המיתקן וגם מאיצה את התייבשות הדיו על הנייר, ומסייעת בכך להגברת הייצור.

באטמוספירה יבשה במיוחד, עלולים גלילי מכבש הדפוס לייצר מיטען רב של חשמל סטטי. ניתן להקטין את רמת המיטען הסטטי שנוצר על-ידי הקטנת הלחץ בין הגלילים לנייר העובר ביניהם, או על-ידי שינוי זווית ההזנה של הנייר, כדי למזער את החיכוך והמגע עם הגלילים. ניתן להקטין את כמות המיטען הסטטי גם על-ידי הגדלת המוליכות החשמלית של הנייר והדיו.

## תהליכי יישום כימיקלים וצבע דליקים באמצעות התזת רסס

הגורם היותר שכיח בהצתת אדים דליקים במיתקן צביעה הוא פריקה אלקטרוסטטית. במערכות לצביעה ולציפוי באירוסול, נצברים על אקדח הצביעה ועל הגוף הנצבע מיטענים סטטיים. כאשר מרוקנים את אקדח הצביעה ואת המיכל הצמוד אליו, לצורך החלפת צבע, קיימת סכנה מוגברת להצתת אדי צבע המכיל ממיסים. למניעת סכנת הצתה - יש לרוקן את הצבע לתוך מיכל הקשור חשמלית אל אקדח הצביעה, או להתקין מגשרי הארקה נפרדים לאקדח ולמיכל הקולט את הצבע.

### צביעה אלקטרוסטטית

צביעה אלקטרוסטטית כרוכה בשימוש מכוון בציוד המזין נוזלים או אבקות, בפוטנציאל אלקטרוסטטי בתחום 30kV עד 150kV. סימנו של המתח הא"ס של הגוף הנצבע הפוך מזה של המתח על חלקיקי הצבע, כך שקיימת משיכה חשמלית בין חלקיקי הצבע לבין הגוף הנצבע, ורמת הצביעה הסופי היא איכותית.

סוגים מסוימים של ציוד צביעה אלקטרוסטטי עלולים לחולל פריקת הבזק אשר תצית אווירה דליקה, או תגרום להלם חשמלי ולפגיעה במפעיל הציוד. בדרך כלל אין שום תועלת בניסיון למנוע את הפריקה האלקטרוסטטית באמצעות הגדלת המרחק בין קצה אקדח האטומיזר (התקן לייצור תרסיס) לבין הגוף הנצבע. אדי הצבע הטעונים במיטען חשמלי מגבירים את מוליכות תווך האוויר, ומירווח הפריצה אינו ניתן לחיזוי. כאשר משתמשים בציוד כזה - יש להקיף את האזור הנצבע בגדר ביטחון ולנעול את הכניסות אליו, כדי למנוע כניסת אנשים לאזור המסוכן. כאשר משתמשים בחומרי צביעה דליקים - יש להתקין מדכאי אש יעילים, אשר יגיבו במהירות וביעילות בכל התפתחות של דליקה באזור הצביעה.

קיימים סוגים מיוחדים של ציוד צביעה המתוכננים לפעול במתח אלקטרוסטטי שאינו יוצר פריקת הבזק. בציוד כזה אין צורך לנקוט באמצעי ההגנה שהוזכרו.

בעת שימוש בציוד צביעה א"ס, יש למנוע הימצאות גופי מתכת מבודדים חשמלית בטווח השדה החשמלי הנוצר בתהליך הצביעה. גופים כאלה יכולים להיטען במיטענים אלקטרוסטטיים בהשראת שדה חשמלי סטטי. פריקת ההבזק יכולה להיות בעלת אנרגיה מספקת להצתת תערובת דליקה. דוגמאות לאבזרי מתכת מבודדים: חלקי מסוע מתכתיים; מיכלי מתכת של ממיסים; כלים המונחים על אזורים המצופים בצבע מבודד או על מבודדים, כגון עץ וקרטון. גם האדם המפעיל את הציוד יכול להיות אובייקט "צף" ויש צורך להאריקו. הארקת אדם העובד במצבעה קשה במיוחד. אדי הצבע הנוצרים בעת הצביעה מכסים במהירות רבה מאד את הנעליים האלקטרוסטטיות שעל רגליו ואת מידרך המתכת אשר אמור לספק הולכה חשמלית מנעליו של העובד אל האדמה. אדם הצועד על רצפה מבודדת עלול להיטען, תוך צעדים ספורים, במיטען אלקטרוסטטי ניכר. כאשר האיש "הטעון" מתקרב אל גוף מתכתי מוארק - עלולה להתרחש פריקת הבזק. אם פריקה א"ס כזאת תתרחש ליד מיכל ממיסים פתוח, או ליד גוף מכוסה צבע טרי - תיתכן הצתה של האדים הדליקים מעל מיכל הצבע/הממיס או באזור הגוף הנצבע. כדי למנוע את הסכנה - יש להאריק את כל הגופים המתכתיים באזור המצבעה, כולל גופים שהונחו באתר באקראי, כגון אריזות מתכת, כלי עבודה, עגלות וכיו"ב.

ספק המתח הגבוה הוא חלק מרכזי של ציוד הצביעה האלקטרוסטטית (משמש להפקת המיטען הסטטי ולחישמול הגוף הנצבע). מימסר ביטחון (אינטרלוק) הוא אמצעי בטיחות מרכזי בספק המתח הגבוה. המימסר מאפשר את פעולת המתח הגבוה רק בעת ביצוע הצביעה בפועל. ספק המ"ג יהיה מסוג מאושר על-ידי מעבדה מוסמכת (דוגמת מכון התקנים). התקנת ציוד הצביעה תבוצע תוך הקפדה על מילוי כל הוראות היצרן ומיפרטיו.