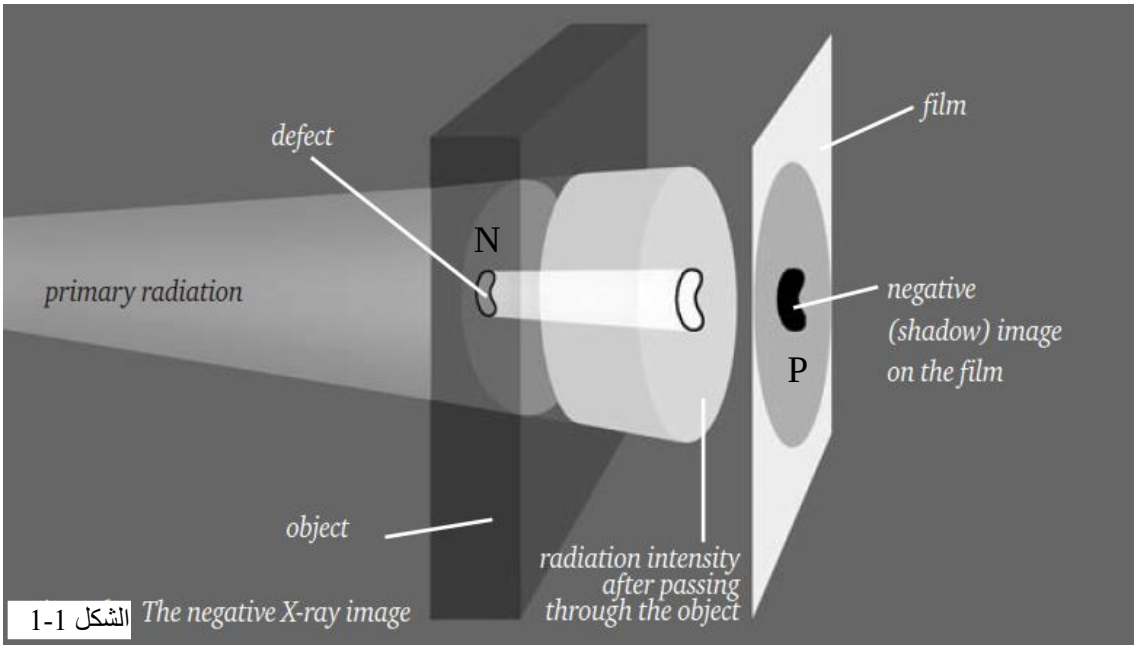
أفلام التصوير الشعاعي الصناعي
تركيبها و سرعتها

1. تكوّن الصورة الشعاعية

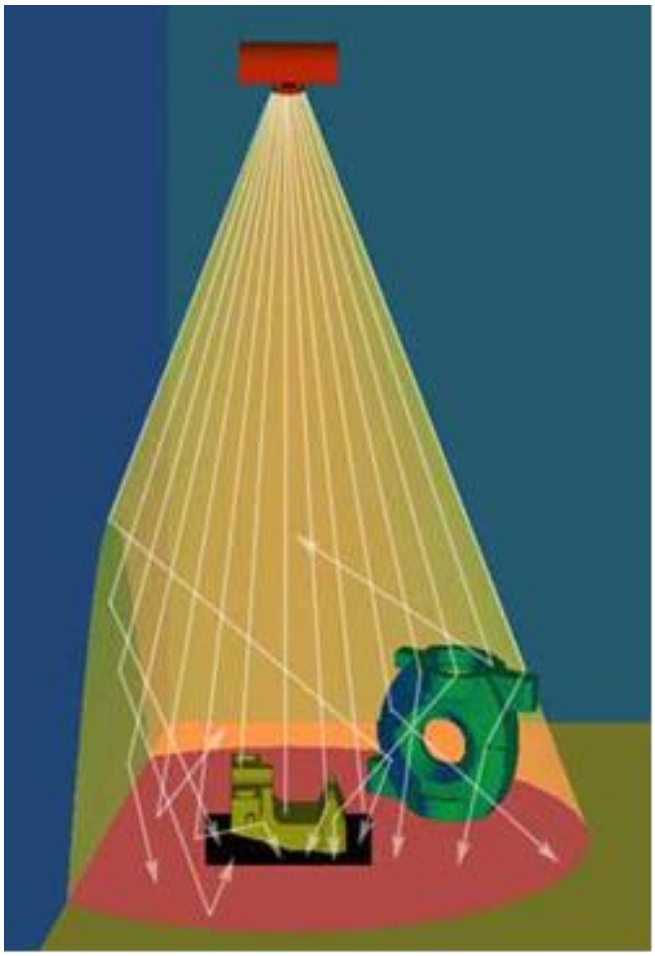
تخضع شدة حزمة من الأشعة السينية أو غاما للتوهين الموضعي أثناء مرورها عبر جسم ما، بسبب امتصاص وتشتت الإشعاع . يكون توهين الحزمة الأولية على جسم مُوحداً (uniform) منتظماً, وسيتم تعريض الفيلم بشكل متساوٍ. إذا كان الجسم يحتوي على عيوب أو كان ذو سماكة متغيّرة، فسيكون تعريض سطح الفيلم غير متساوٍ مما يُنتج صورة خيال للجسم والعيوب الموجودة فيه. عندما تتم معالجة الفيلم ، ستظهر الاختلافات في كثافة الإشعاع على أنها كثافات متغيّرة للفيلم؛ حيث تنتج شدة إشعاع أعلى كثافة أعلى على الفيلم مما ينتج عنه صورة شعاعية سلبية كما هو موضح في الشكل 1-1.



الشكل 1-1. صورة الأشعة السينية السلبية

عندما يتم امتصاص الحزمة الأولية جزئياً في الجسم ، فإن بعض الإشعاع ، كما هو موضّح في الشكل 1-2 ، سوف ينتشر (scattered) ويصل إلى الفيلم كإشعاع ثانوي بمسار غير مباشر. حيث يعمل على تقليل جودة الصورة الشعاعية عبر الإشعاع المتناثر هذا، ومن المهم الحفاظ على آثاره عند الحد الأدنى. في أي نقطة P على الفيلم ، يتكوّن إجمالي الإشعاع الذي يصل إلى تلك النقطة من بعض الإشعاع الأولي المرسل الذي يشكّل صورة التجويف (N) ، و "تكوين الصورة" - أو شدة الإشعاع المباشر I_p، وبعض الإشعاع الثانوي " لا يشكّل الصورة "، إشعاع متناثر I_S ، أي ، أن كثافة الإشعاع الكلية عند P هي المجموع ($I_p + I_s$).

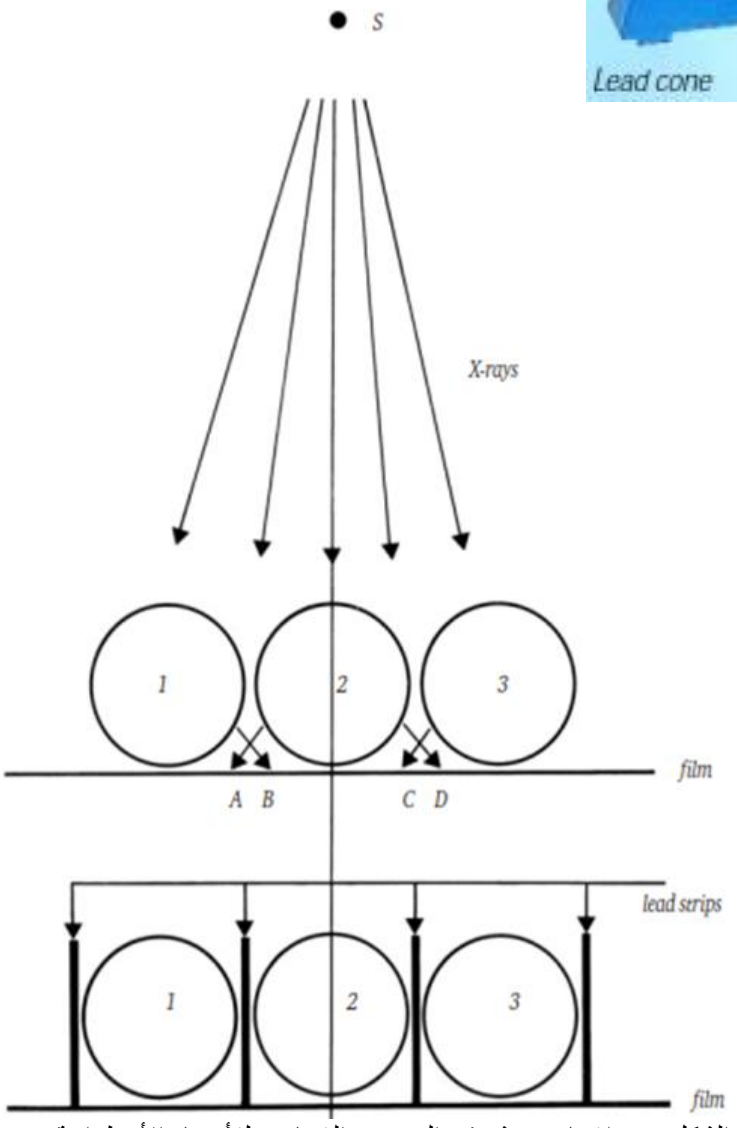
تسمى النسبة I_S / I_p "عامل الإشعاع المتناثر" ويمكن أن تصل إلى 10 لسماكة الجدار الكبير ، مما يعني أن الإشعاع المتناثر أعلى بعشر مرات من الإشعاع المكوّن للصورة.
تسمى النسبة $(I_p + I_s) / I_p = 1 + I_s / I_p$ "عامل البناء - build-up factor " وهي ذات أهمية كبيرة لكشف العيوب. عادةً ما تتراوح قيمته بين 2 و 20 ، اعتماداً على طاقة الإشعاع وسماكة الجسم.
يجب أيضاً إدراك أن أي جسم في جوار الجسم قيد الفحص (طاولة ، جدران ، أرضية وما إلى ذلك) يصطدم بأشعة غاما أو الأشعة السينية سيعكس جزئياً هذه الأشعة في شكل "تشتت خلفي" (backscatter) من الممكن أن يتسبّب في ضبابية (fog) الفيلم.
تأثير التشتت الخلفي الناتج عن الجسم قيد الفحص أقل قساوة (less hard) من الإشعاع الأساسي الذي سبّبه ويمكن اعتراضه بواسطة فلتر مرشح معدني بين الجسم والفيلم.
يمكن اعتراض الإشعاع المتناثر من الأشياء القريبة من الفيلم عن طريق صفيحة واقية من الرصاص عند الوجه الخلفي لكاسيت الفيلم.
غالباً ما تتطلّب قوانين ومعايير الصناعة وضع حرف "B" على الجزء الخلفي من الفيلم للتحقق من التحكم في التشتت الخلفي. إذا ظهر الحرف "B" كصورة "خيال" على الفيلم ، فإن كمية كبيرة من الإشعاع المرتجع تصل إلى الفيلم. غالباً ما تكون صورة "B" غير واضحة تماماً .



يحدث الإشعاع المتناثر أيضاً في الفحص الشعاعي للأجسام الأسطوانية ، كما هو موضح في الشكل 3-1.
يمكن تقليل تأثيرات الإشعاع المتناثر بشكل أكبر من خلال:
• تحديد حدود (limiting) حجم حزمة الإشعاع إلى الحد الأدنى مع وجود حاجز أمام نافذة الأنبوب
• استخدام مخروط لتحديد مكان الشعاع ، وهو ما يسمى موجّه حزمة (collimator)
• استخدام الأقنعة: شرائح من الرصاص حول حواف الجسم.

الشكل 2-1

الشكل 3-1 موجهات حزمة ومحددات



الشكل 3-1 إشعاع مبعثر في التصوير الشعاعي للأجسام الأسطوانية.

إشعاع مبعثر من الجسم 1 يسبب حزمة زائفة في B ، و الجسم 2 يسبب حزمة زائفة في A إلخ ، ما لم يتم استخدام شرائح الرصاص كما هو موضح في الجزء السفلي من هذا الشكل

2. فلاتر الإشعاع

يتم استخدام الفلاتر لتحسين تأثيرات الإشعاع على تكوين الصورة ، ولتقسية الإشعاع للتأثير على التباين. عندما يتم وضع لوحة معدنية ، وعادةً ما تكون من الرصاص أو النحاس ، بين نافذة الأنبوب والجسم، يحدث "تقسية - hardening" للإشعاع مما يؤدي إلى تباين أقل على الصورة.

قد يتم موازنة ذلك من خلال فلتر مرشح معدني يوضع مباشرة خلف الجسم (أي بين الجسم والفيلم). سوف يتسبّب هذا الفلتر بامتصاص الإشعاع المتناثر (الأكثر ليونة - softer) الذي كان سيعبرالجسم و يمتصه بدرجه أكبر من الإشعاع الأساسي (الأقسى). و هذا يؤدي أيضاً إلى تحسين جودة الصورة.

إذا كانت حواف الجسم الذي يتم تصويره بالأشعة غير قريبة من الفيلم (كما في حالة الجسم الأسطواني في الشكل (3-1) يمكن أن يحدث تشتت و تبعثر كبير للإشعاع الأساسي ، مما يؤدي إلى ضبابية.

يمكن منع هذا التبعثر عن طريق وضع صفائح من رقائق الرصاص (lead foil) بين الجسم والفيلم.

إن تقليل التباين عن طريق الترشيح أمر مرغوب فيه أيضاً عند الحصول على صورة شعاعية لجسم ما بسماكات متفاوته على مجال واسع على فيلم واحد.

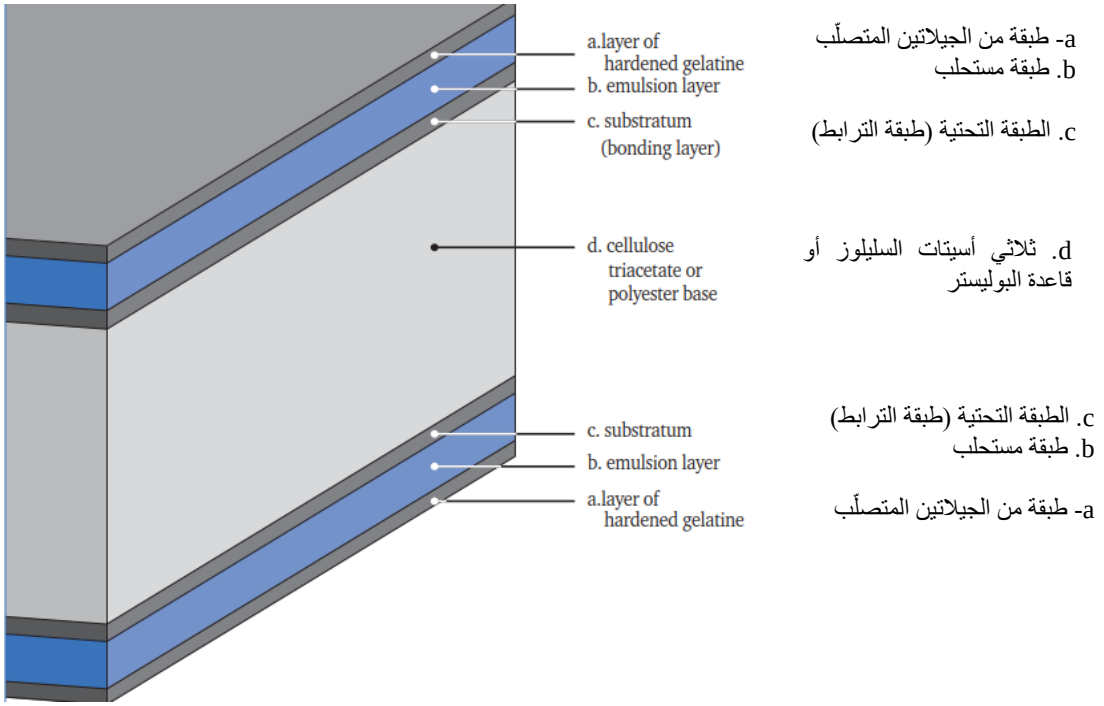
سماكة الفلتر النموذجية هي:

0.1 - 0.25 مم رصاص لأشعة سينية 300 كيلوفولت

0.25 - 1.0 مم رصاص لأشعة سينية 400 كيلو فولت

3 ـ فيلم التصوير الشعاعي وخصائصه

1.3 بنية الفيلم



الشكل 1-3. المقطع العرضي التخطيطي لفيلم التصوير الشعاعي ، السماكة الكلية تقريباً 0.5 ملم.

تبلغ السماكة الإجمالية لفيلم التصوير الشعاعي 0.5 مم تقريباً ، و هو مكوّن من سبع طبقات ، انظر الشكل (1-3) . ويتكوّن من:
قاعدة شفافة مرنة من مشتقات السليلوز الصافية أو مواد مشابهة (ثلاثي أسيتات السيلليلوز الشفاف أو قاعدة بوليستر (d)) .
يتم وضع الطبقات التالية على جانبي هذه القاعدة:

- طبقة من الجيلاتين المتصلّب (a) لحماية المستحلب (emulsion)
- طبقة مستحلب (b) معلّقة في الجيلاتين حساسة للإشعاع
- طبقة رقيقة جداً تسمى الطبقة التحتية (C) التي تربط طبقة المستحلب بالقاعدة

لذلك ، يحتوي فيلم التصوير الشعاعي العادي على طبقتين من المستحلب (emulsion) تضاعفان السرعة مقارنة بفيلم بطبقة مستحلب واحدة. مستحلب التصوير هو مادة حساسة للإشعاع المؤين والضوء، وتتكوّن من جزيئات بلورات هاليد الفضة المجهرية المعلقة في الجيلاتين. حيث يتغير هيكلها المادي عند تعرّضها للإشعاع. هذه التغييرات هي ذات طبيعة لا يمكن اكتشافها بواسطة أساليب مادية عادية، وتسمى الصورة الكامنة. ومع ذلك، عندما يتم التعامل مع الفيلم المعرّض بمحلول كيميائي (يسمى المظهر) يحدث رد فعل يسبّب تدرّج حبيبي صغير من الفضة المعدنية السوداء. هذه الفضة، تعلق في الجيلاتين على جانبي القاعدة، الذي يبني الصورة.

2.3 الصورة الشعاعية

1.2.3 الصورة الكامنة (latent image)

عندما يضرب الضوء أو الأشعة المؤينة مستحلباً حساساً ، فإن الأجزاء التي تتلقى كمية كافية من الإشعاع تخضع للتغيير ؛ حيث تتحوّل جزيئات صغيرة للغاية من بلورات هاليد الفضة إلى الفضة المعدنية.
آثار الفضة هذه دقيقة جداً لدرجة أن الطبقة الحساسة تبقى في جميع مظاهرها دون تغيير. عدد جزيئات الفضة المؤينة المُنتجة يكون أعلى في الأجزاء التي تم ضربها بكمية أكبر من الإشعاع وتكون أقل عدداً حيث اصطدمت بكمية أقل من الإشعاع.
بهذه الطريقة ، يتم تكوين صورة كاملة ، وإن كانت غير مرئية حتى الآن ، في طبقة حساسة للضوء عند حدوث التعريض ، وتسمى هذه الصورة "الصورة الكامنة - latent image ".
قبل وبعد التعريض ، ولكن قبل تحميض الفيلم (development) ، فإن الصورة الكامنة لها مظهر أخضر شاحب لامع (shiny pale green).

2.2.3 اظهار الصورة الكامنة (Developing the latent image)

التحميض هو العملية التي يتم من خلالها تحويل الصورة الكامنة إلى صورة مرئية. يتم الحصول على هذه النتيجة عن طريق الاختزال الانتقائي (selective reduction) لبلورات هاليد الفضة في المستحلب إلى الفضة المعدنية السوداء. تحمل هذه البلورات آثاراً من الفضة المعدنية وتشكّل بذلك

الصورة الكامنة. يمكن أن تُرجِع العديد من المواد الكيميائية هاليدات الفضة المعرّضة إلى الفضة المعدنية: تسمى هذه المواد وسائط الاظهار "developing agents ".

الجدول 1-3. تصنيف أفلام التصوير الشعاعي

خصائص الفيلم	السرعة *	الحبيبات	التباين *
النوع I للتفتيش الدقيق الحرج و يتطلّب جهد أعلى و لتصوير المعادن الخفيفة وسبائكها	بطيء جداً	ناعمة جداً	عالي
النوع **II** للتصوير الشعاعي للمعادن الخفيفة عند جهد كيلوفولت منخفض وأجزاء الفولاذ الثقيلة عند 1000 - 2000 كيلو فولت	بطيء	ناعم	عالي
النوع **III** تستخدم بأعلى أشعة غاما متاحة أو أشعة سينية بجهد عالٍ بشكل مباشر أو مع شاشات الرصاص المعززة	متوسط	متوسط	متوسط
النوع **IV** تستخدم بأعلى السرع المتاحة وبتباين عالي مع شاشات الفلورسنت. انخفاض في التباين عند استخدامها مباشرة أو مع شاشات الرصاص المعززة.	سريع	متوسط	متوسط

* ملاحظة: تنطبق هذه السرعات النسبية والتباين فقط على استخدام الفيلم في التعرض المباشر أو مع شاشات الرصاص المعززة.

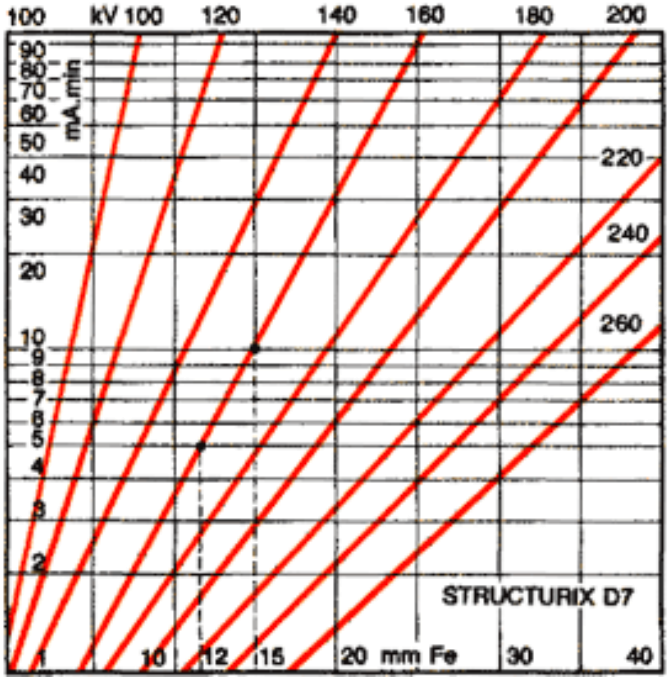
3.3 خصائص أفلام التصوير الشعاعي

يتم تصنيع الفيلم الشعاعي من قبل شركات الأفلام المختلفة لتلبية الطلب المتنوع الواسع للغاية.

تم تصميم كل نوع من أنواع الأفلام لتلبية المتطلّبات وهذه تمليها ظروف التفتيش، مثل (أ) الجزء، (ب) نوع الإشعاع المستخدم، (ج) طاقة الإشعاع (د) شدة الإشعاع و (ج) مستوى التفتيش المطلوب. لا يوجد فيلم واحد قادر على تلبية جميع المتطلّبات. لذلك، يتم تصنيع عدد من أنواع الأفلام المختلفة، وكلها ذات خصائص مختلفة، فالإختيار هو ما يمليه التوافق بين تقنية التصوير الشعاعي والأفلام للحصول على النتيجة المرجوة.

عوامل الفيلم التي يجب مراعاتها في اختيار الفيلم هي: السرعة والتباين والمدى والحبيبية. هذه العوامل الأربعة مرتبطة ارتباطاً وثيقاً؛ وأي واحد منهم هو تقريباً تابع للثلاثة الآخرين. وبالتالي فإن الأفلام بحجم الحبيبات الكبيرة لها سرعة أعلى من تلك التي لديها حجم حبيبات صغيرة نسبياً. وبالمثل، عادةً ما تكون الأفلام ذات التباين العالي بحبيبات أنعم وأبطئ من أفلام التباين المنخفض.

تؤثر الحبيبية، على تحديد تفاصيل الصورة. و الأفلام بنفس التباين، و بحبيبات صغيرة ستكون قادرة على اظهار المزيد من التفاصيل أكثر من تلك التي لها حبيبات أكبر نسبياً.
ربما تكون الصورة قد تشكّلت بالضوء أو بأي من أشكال الإشعاع كأشعة غاما و الأشعة السينية كذلك، فإن خصائص الأخيرتين هي سمة مميزة منفصلة وبالتالي مستحلبات الأفلام المستخدمة معها تختلف عن تلك المستخدمة في أنواع أخرى من التصوير. يمكن أن تكون جميع الأفلام المصورة مصنفة وفقاً للعوامل الأربعة المذكورة بالفعل (السرعة والتباين والمدى والحبيبية).
يتطلّب استخدام فيلم الأشعة وتعريف خصائصه معرفة كافية بقياس مقدار جودة الصورة.
هذا هو المجال الذي يدرس الخصائص التصويرية للفيلم ، والطرق التي تُمكّن من هذا القياس.
تعتمد كثافة (أو اسوداد) طبقة الصورة الشعاعية ، بعد الاظهار في ظل ظروف محددة بدقة ، على التعريض. يعني التعريض مزيجاً من جرعة الإشعاع التي تضرب المستحلب ، أي الشدة (I) و زمن التعريض (t).



الشكل 2-3 مخطط التعريض بالأشعة السينية

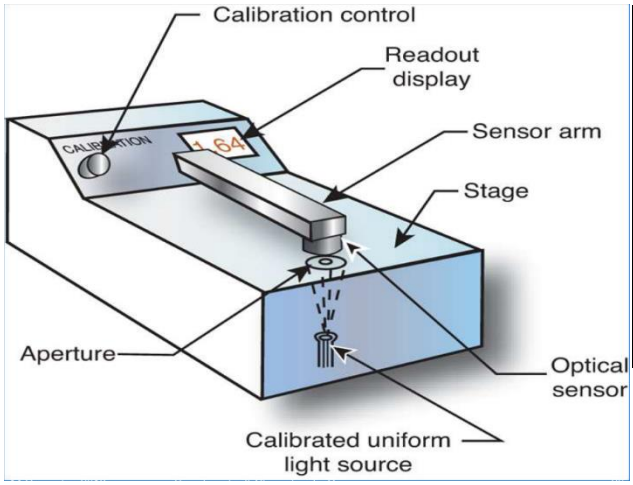
في قياس مدى الدقة هذه، تظهر العلاقة بين التعريض والكثافة (I.t) فيما يسمى بمنحنى الخصائص أو منحنى الكثافة.

1.3.3 الكثافة (البصرية)

عند وضع فيلم شعاعي على شاشة عرض مضيئة ، سيُلاحظ أن الصورة تتكوّن من مناطق مختلفة السطوع ، اعتماداً على الكثافة البصرية المحلية (كمية جزيئات الفضة) للمستحلب المُظهر.
يتم تعريف الكثافة (D) على أنها اللوغاريتم إلى الأساس 10 لنسبة الضوء الساقط I_o والضوء المار عبر الفيلم I_t ، لذلك: $D = \log (I_o / I_t)$.

الجدول 2-3 علاقة الكثافة المصورة إلى العتامة و النفاذية

النفاذية	العتامة	الكثافة
I_t / I_O	I_O / I_t	$Log_{10}(I_O / I_t)$
1.00	1	0
0.50	2	0.3
0.25	4	0.6
0.10	10	1.0
0.01	100	2.0
0.001	1000	3.0
0.0001	10000	4.00



الشكل 3-3 مقياس كثافة

يشير الجدول 2-3 أنه إذا كان الضوء الذي تم نقله عبر الفيلم نصف الضوء الساقط (النفاذية = 0.5)، فإن الكثافة هي فقط 0.3، والكثافة 1 تدل أن عُشر الضوء الساقط فقط نفذ.

يتم قياس الكثافة بواسطة مقياس كثافة (densitometer). يغطي التصوير الشعاعي الصناعي على الفيلم التقليدي مجال كثافة من 0 إلى 4 ، وهو فرق يقابله عامل 10000.

2.3.3 التباين (Contrast)

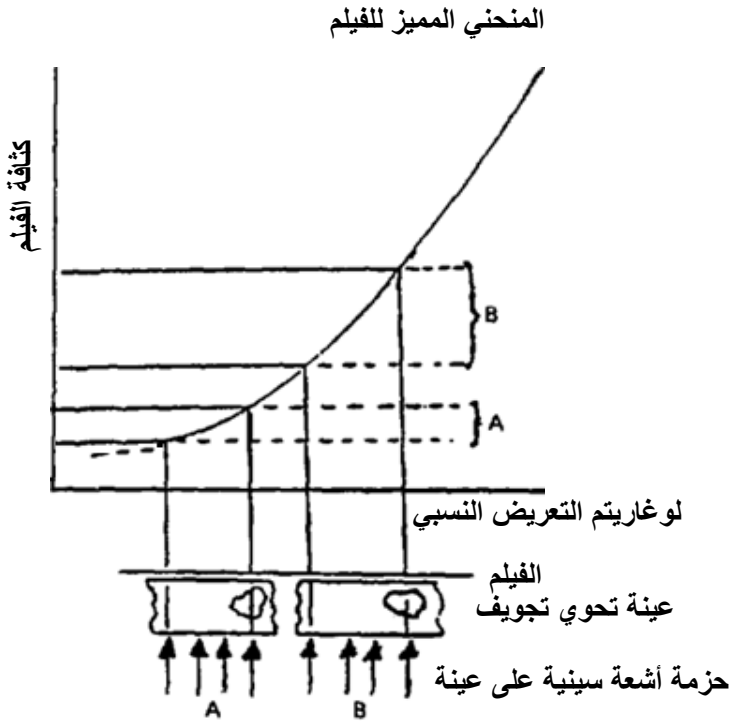
يتم تعريف تباين الصورة على أنه السطوع النسبي بين الصورة والخلفية المجاورة أو أنه اختلاف كثافة أجزاء متجاورة من الصورة.

التباين بين كثافتين D_1 و D_2 على فيلم الأشعة هو فرق الكثافة بينهما وعادةً ما يطلق عليه "التباين الشعاعي".

تباين الفيلم ، أو تباين المستحلب ، هي مصطلحات غامضة إلى حد ما تستخدم لوصف التباين العام المتأصل في نوع معين من الأفلام. عندما يُظهر نوع المستحلب معظم تباينات الصورة الحالية الموجودة، يقال أن الفيلم "عالي التباين" أو "قاسي -hard ".

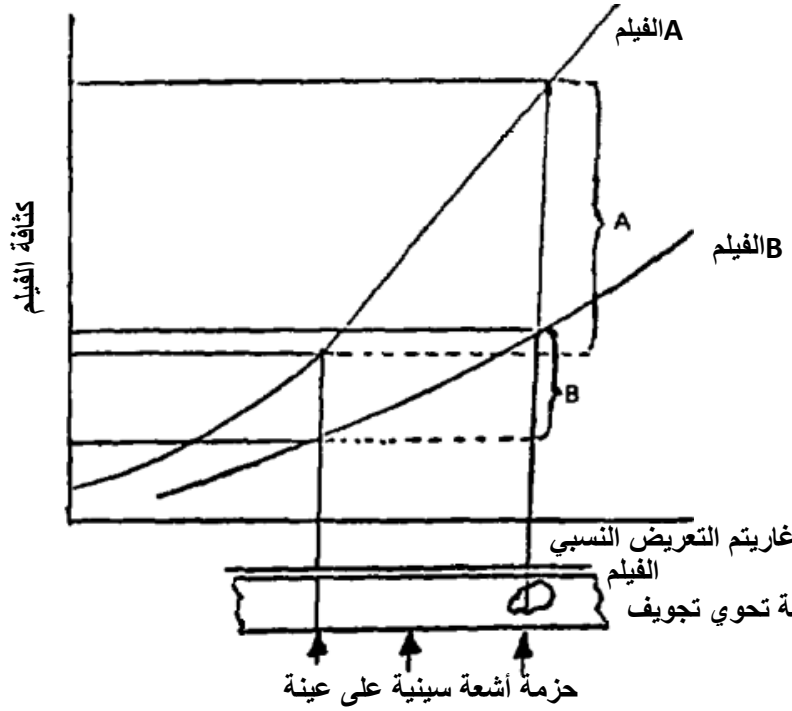
لقياس تباين الفيلم ، يتم استخدام مصطلح "تدرج الفيلم - film gradient " ، والذي رمزه (G_D). تشير اللاحقة D إلى الكثافة التي يتم قياس التدرج G عندها.

توضّح الأشكال 3-4 و 3-5 أهمية تباين الفيلم. في الشكل 3-4 تم الحصول على تعريضين على نفس النوع من الأفلام لنفس العينة ولكن تم تعريض أحدهما لفترة أطول فالمنطقة من المنحنى المميز التي تظهر كثافة فيلم أعلى تمثل الصورة الشعاعية B. بسبب شكل المنحنى المميز ، يتم لنفس التجويف في عينة الصفيحة تسجيل فرق كثافة أكبر على الصورة الشعاعية B منه على الصورة الشعاعية A . وهذا سيكون مرئياً أكثر وضوحاً. لذلك يُقال إن الصورة الشعاعية B لديها تباين أعلى من الصورة الشعاعية A.



الشكل 3-4 رسم بياني لتوضّح تأثير استخدام كثافة عمل عالية على فيلم شعاعي . A هو اختلاف الكثافة في صورة لتجويف بعد تعريض قصير . B هو فرق الكثافة في صورة التجويف بعد فترة تعريض أطول.

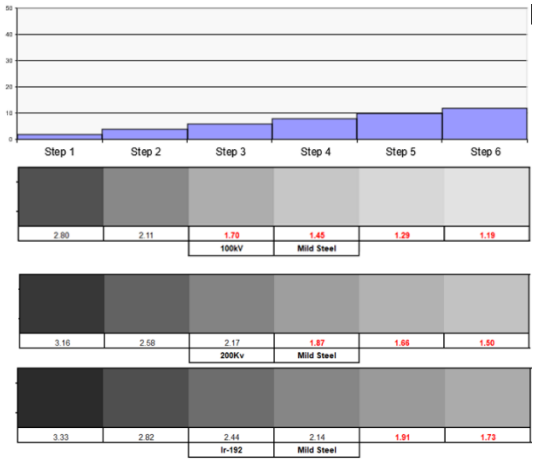
بينما يُوضّح الشكل 3-5 تأثيرالحصول على نفس التعريض على فلمين لهما منحنيات مميزة مختلفة. كانت العينة لكلا الحالتين هي نفسها. على الفيلم A مع منحنى مميز أكثر حدة، يكون اختلاف الكثافة أكبر من تلك التي تم الحصول عليها على الفيلم B، مما يعني أن التباين سيكون أفضل للفيلم A من الفيلم B.



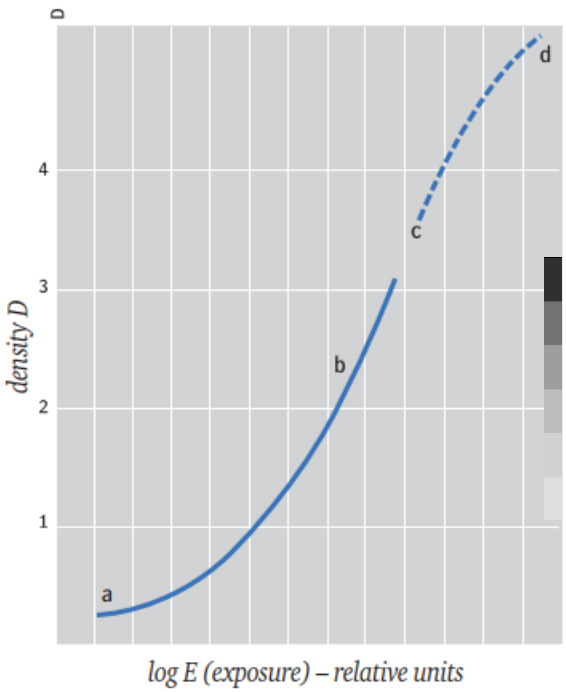
الشكل 3-5 رسم بياني لتوضيح استخدام تدرج الفيلم الأكبر عند كثافة العمل على الفيلم الشعاعي . A هي اختلاف الكثافة في الصورة على الفيلم A و B هي اختلاف الكثافة في الصورة على الفيلم B .

كما هو واضح من مثال الشكل 3-4 من الأفضل أن نعمل في الكثافات التي تقع في جزء الخط المستقيم من المنحنى المميز. في الأيام الأولى لقياس كثافة الأفلام مع تعريض فيلم للضوء، كان يعتقد أن جزء "الخط المستقيم" كان حقاً مستقيم و أُطلق على الميل (التباين) تسمية "غاما" وكان ثابتاً.
أظهرت المزيد من التجارب الدقيقة من خلال الأشعة السينية أن منحنيات جزء "الخط المستقيم" مرتفعة قليلاً، وإذا تم قياس ميل المنحنى، نجد له قيمة صاعدة وهذا هو السبب في أن ميل جزء "الخط المستقيم" من المنحنى المميز يسمى الآن تدرج الفيلم وليس غاما. بالتعريف، فإن ميل المنحنى المميز هو تباين الفيلم، مما يعني أن التباين يزداد مع زيادة الكثافة في جزء "الخط المستقيم" من المنحنى المميز.

4 المنحنى المميز (منحنى الكثافة)



يشير منحنى الخواص أو الكثافة إلى العلاقة بين زيادة التعريض والكثافة الناتجة. يُقصد بالتعريض (E) جرعة الإشعاع على مستحلب الفيلم. إنه نتاج شدة الإشعاع (I_o) وزمن التعريض (t) ، لذلك :
$E = I_o.t$ النسبة بين التعريضات المختلفة والكثافات ذات الصلة لا يتم رسمها عادةً على مقياس خطي ولكن على مقياس لوغاريتمي ؛ أي الكثافة D مقابل الـ log E.
يتم الحصول على المنحنى بتطبيق تعريضات متزايدة لسلسلة مناطق متعاقبة من شريط من الفيلم، حيث يكون كل تعريض تالي معاملاً معيناً أكبر من السابق. (على سبيل المثال 2)
بعد الاظهار ، تُقاس الكثافة (D) بواسطة مقياس كثافة ثم تُرسم مقابل القيم اللوغاريتمية للتعريضات المقابلة (log E). ثم يتم ربط النقاط التي تم الحصول عليها معاً بخط متصل. ليس من الضروري معرفة قيم التعريض المطلقة ؛ يمكن استخدام القيم النسبية ، لذلك في حالة شدة الأشعة السينية الثابتة، يجب تغيير زمن التعريض فقط.
لا تزداد كثافة (D) مستحلب لصورة شعاعية خطياً مع التعريض (E) على مجال الكثافة بأكمله، ولكن لها شكل كما هو مبين في الشكل 4-1.



الشكل 4-1. المنحنى المميز لفيلم الأشعة الصناعي

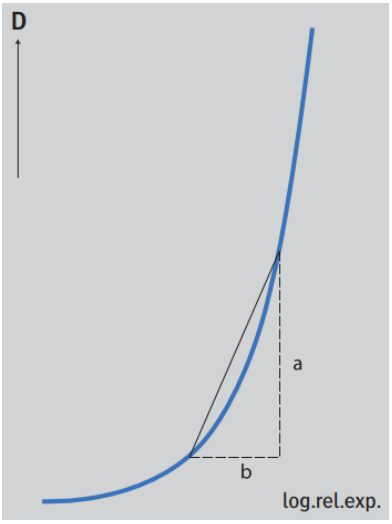
الجزء السفلي من المنحنى (a-b) يسمى "إصبع - toe"، والجزء الأوسط (b-c) يسمى "الخط المستقيم (الخطي)" ، والجزء العلوي (c-d) يسمى "الكتف- shoulder". عادةً ما يبدو المنحنى المميز للأفلام الشعاعية الصناعية بشكل يشبه حرف S.
يتوافق كتف المنحنى المميز المتعلق بالفيلم الشعاعي الصناعي مع كثافات أعلى من 4. نظراً لأن هذه الكثافات عالية جداً لعرض الفيلم العادي ، يظهر المنحنى من الكثافة D = 3.5 إلى الأعلى كخط متقطع.
وتجدر الإشارة إلى أن الجزء المستقيم (b-c) ليس مستقيماً حقاً، ولكنه يواصل قليلاً اتجاه إصبع المنحنى. إذاً الميزات المهمة للمنحنى المميّز هي:
(1) لا يبدأ من الكثافة صفر. حتى مع عدم وجود تعريض، فإن الفيلم لديه بعض الكثافة عند المعالجة.
(2) لديه منطقة انحناء، التي تنحني صعوداً.
(3) لديه جزء تقريباً خط مستقيم.
(4) لديه منطقة كتف ، حيث تنخفض الكثافة مع زيادة التعريض.

1.4 الكثافة الضبابية

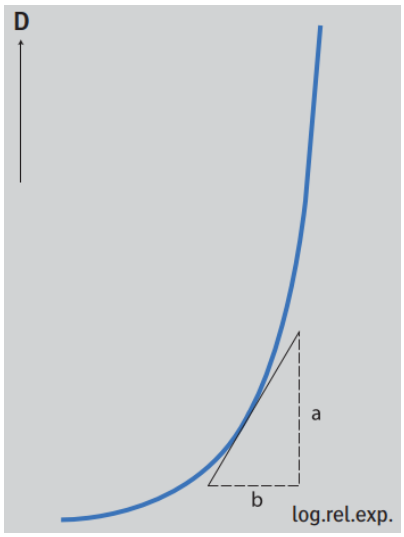
تسمى الكثافة التي يتم الحصول عليها على الفيلم بعد المعالجة مع عدم تعريض الفيلم للأشعة، الكثافة الضبابية ، أو مستوى ضبابية الفيلم. توجد الكثافة الضبابية لسببين: أحدهما هو الكثافة المتأصلة بقاعدة الفيلم، لأنها ليست شفافة تماماً؛ والثاني هو كثافة الضبابية الكيميائية، والتي ترجع بالحقيقة لأن بعض الحبيبات قادرة على الإظهار حتى دون التعرّض للأشعة. القيم النموذجية للكثافة الضبابية للفيلم الشعاعي، بالمعالجة العادية، بين 0.2 و 0.3.
للضبابية هذه العديد من الأسباب التي تشمل شروط التخزين ، وتكوين المظهر ، و شروط الإظهار، وظروف التداول وعمر الفيلم. تسمى أيضاً الكثافات غير المرغوبة التي يسببّها الضوء والضغط ضبابية. الكثافة غير المرغوب فيها الناتجة عن التعريض المفرط للضوء الآمن (safelight) على الرغم من استخدام ضوء اللون الخفيف الذي لا يؤثر على المادة الحساسة في حدود زمنية معقولة تسمى ضبابية الضوء الآمن. ويطلق على الكثافة غير المرغوب فيها والتي تنتج عند ضغط مرتفع يمارس على الفيلم ضبابية الضغط .
كل هذه الأنواع من الضبابية التي تنتجها عوامل خارجية غير مرغوب فيها تؤثر سلباً على الصورة الشعاعية وبالتالي يجب دائماً منعها.

2.4 ميل منحنى الكثافة

يُظهر منحنى الكثافة إحدى أهم خصائص الفيلم. ميل المنحنى المميز عند أي نقطة معينة يساوي ميل خط المماس عند هذه النقطة. هذا الميل (a / b في الشكل 4-2) ، يسمى "تدرج الفيلم" G_D، "تباين الفيلم" أو "فيلم غاما".



الشكل 4-2. متوسط تدرج (a/b) الفيلم الشعاعي



الشكل 4-3. تدرج الفيلم الشعاعي

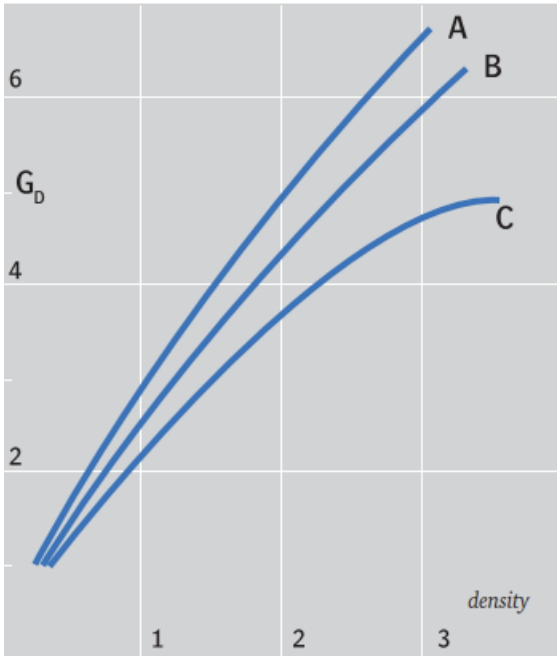
3.4 متوسط التدرج Average gradient

الخط المستقيم الذي يربط بين نقطتين على منحنى مميز، كما يوضح الشكل 4-2 ، يساوي "متوسط التدرّج" لجزء المنحنى الذي يربط بين هاتين النقطتين. هذا التدرج (G_D) هو متوسط جميع التدرجات في المقطع بين قيم الكثافة 3.50 و 1.50، وهو خاصية قياسية لنوع معين من أفلام التصوير الشعاعي.

في جميع الأفلام (على سبيل المثال D2 إلى D8) يزداد التدرج (a/b) مع زيادة الكثافة ضمن مدى كثافة مفيد لشاشات العرض التقليدية D <4.

أنواع الأفلام المختلفة ليست متطابقة. يصبح هذا واضحاً عند رسم قيم التدرج G_D مقابل الكثافة الناتجة عن منحنيات التدرج / الكثافة ، كما هو موضح في الشكل 4-4.

عند حساسية الفيلم العالية، يكون التدرج أقل ، وبالتالي يكون منحنى الكثافة حاداً بشكل أقل.



شكل 4-4. منحنيات التدرج / الكثافة لثلاثة أنواع من الأفلام:
A حساسية منخفضة: فيلم بحبيبات ناعمة جداً (D2)
B حساسية متوسطة: فيلم بحبيبات ناعمة (D4)
C حساسية عالية: فيلم حبيبات متوسطة (D8)

يعني التدرج الأكثر انحداراً زيادة في فرق الكثافة عند جرعة إشعاع متساوية وبالتالي تباين أكبر، مما يؤدي إلى تحسين تمييز العيوب. إذا تطلّب الأمر تبايناً عالياً ، فمن الضروري استخدام أعلى كثافة تصوير شعاعي ممكنة ، مع البقاء ضمن مجال الكثافة المقبول لشاشة العرض (viewing screen) حتى لا تعيق تفسير الفيلم.

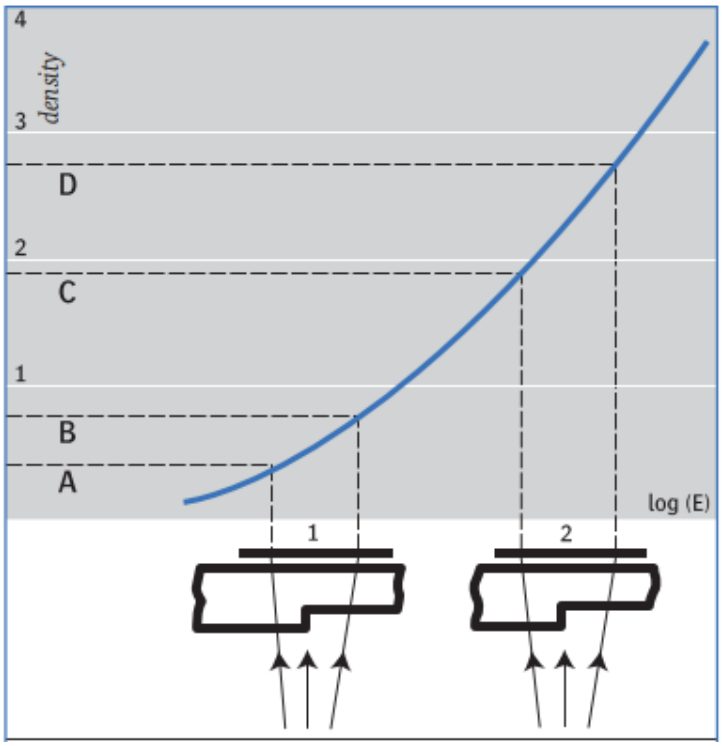
الجدول 4-1. فقدان التباين مع كثافة الفيلم المنخفضة

Density D D = 3.0	Film contrast as a % of the value at تباين الفيلم كنسبة مئوية من القيمة عند
3.0	100
2.5	85
2.0	71
1.5	54
1.0	35

تطلب معظم المعايير للممارسات الجيدة كثافات تتراوح بين 2.0 و 3.0 في المنطقة ذات الصلة من الصورة.

يوضح الجدول 4-1 الخسارة في التباين على الفيلم النموذجي حيث تقل قيم الكثافة التي تم الحصول عليها عن 3.0.

يتم تصوير العينة في الشكل 4-5 التي تحتوي على درجة صغيرة بالأشعة بزمني تعريض مما أنتج اختلافاً في الكثافة قدره 0.5 (B ناقص A). إذا تم الآن ، باستخدام نفس النوع من الفيلم ونفس جهد الأنبوب ، زيادة زمن التعريض أكثر ، يكون فرق الكثافة 0.9 (D ناقص C). وبالتالي ، فإن الصورة الشعاعية الثانية تُظهر تبايناً أكبر.



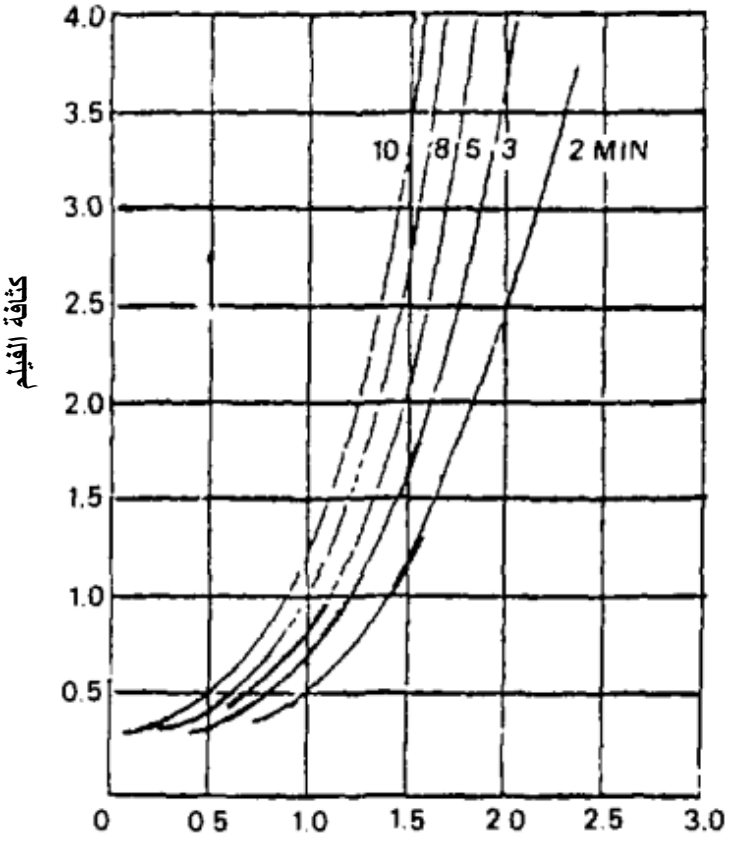
شكل 4-5. رسم توضيحي للتباين المحسّن عند زيادة الكثافة

4.4 تأثير شروط التحميض على منحنى الكثافة

لا يتم تحديد المنحنى المميز للفيلم الشعاعي فقط من خلال خصائص المستحلب ولكن أيضاً من خلال طريقة اظهار الفيلم. العوامل التي يمكن أن تؤثر على المنحنى المميز هي: زمن الاظهار ودرجة حرارته ، و تركيز المُظهر والتحريك.على سبيل المثال ، نرى في الشكل 4-6 تأثير ، زمن الاظهار على السرعة (عامل التعريض النسبي) ، والتباين والضبابية. في البداية ، ما يصل إلى حوالي 4 دقائق، والسرعة والتباين منخفضان ولكنهما يزدادان بسرعة مع زمن الاظهار. من 8 دقائق فصاعداً ، تؤدي الزيادة الإضافية في زمن الاظهار إلى زيادة ضبابية الخلفية (background fog)، وفي النهاية سيحدث انخفاض في التباين.

على الرغم من أنه من الممكن التعويض ، إلى حد ما ، عن الاختلافات الطفيفة من التعريض الصحيح للإشعاع من خلال ضبط زمن الاظهار ، عادةً ما يتم الحفاظ على زمن ثابت. في التحميض اليدوي ، يكون الزمن القياسي 5 دقائق. يؤثر نوع المُظهر ، وتحريك الفيلم في الحوض ودرجة الحرارة أيضاً على الكثافة.

لهذا السبب يفضّل أن تكون عملية التحميض الشاملة موحّدة أو مؤتمتة. في معظم الحالات ، يؤدي الانحراف عن شروط التحميض المثلى إلى انخفاض جودة الصورة.



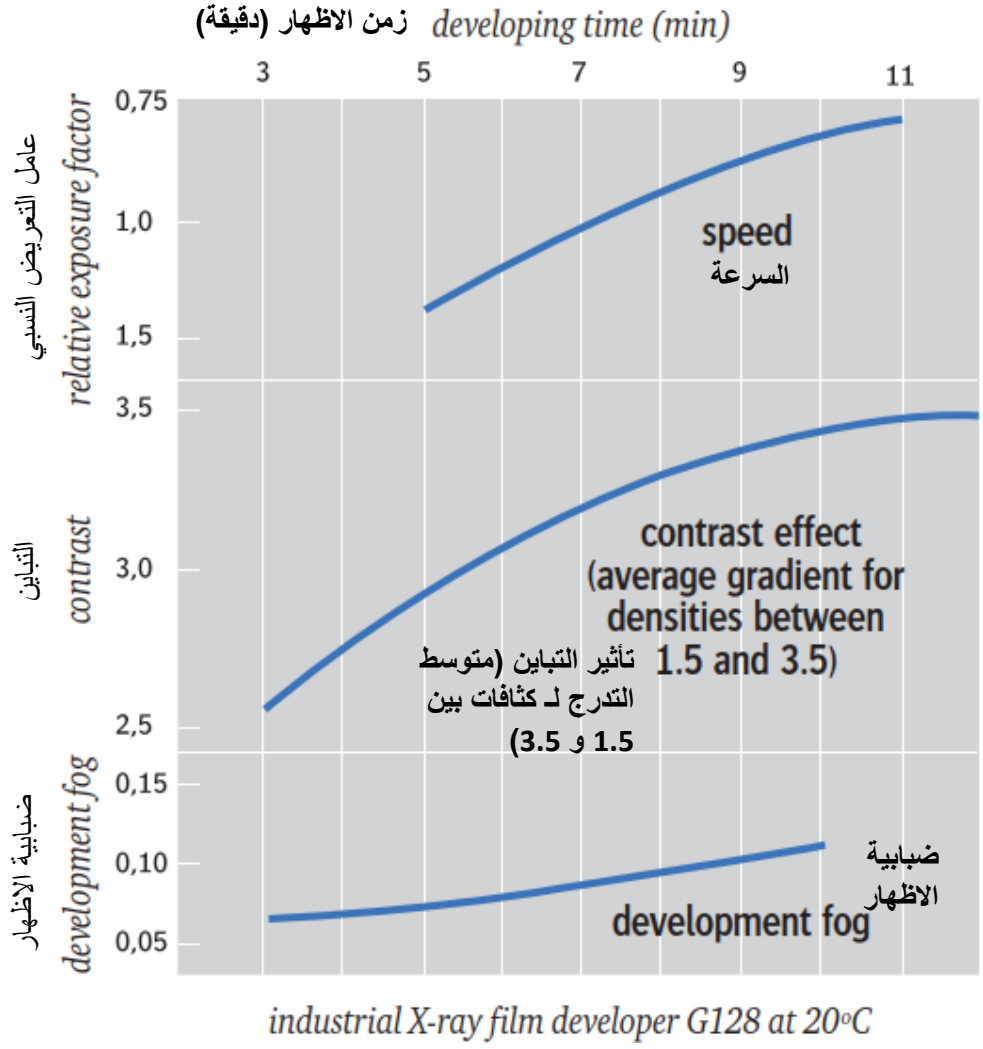
الشكل 4-6. المنحنيات المميزة لأفلام الأشعة السينية الصناعية النموذجية، تم اظهارها لمدد 2،3،5،8 و 10 دقائق

يمكن من الشكل 4-6 استنتاج أن:

1- يزداد مستوى ضبابية الفيلم مع زيادة زمن الإظهار. يوضح الشكل 4-7 الزيادة في مستوى الضبابية.

2- تزداد سرعة الفيلم (الذي يحدد بموقع المنحنى المميز على طول محور لوغاريتم التعريض) مع زيادة زمن الإظهار (الشكل 4-7).

3- يزداد تباين الفيلم (الذي يحدده ميل المنحنى المميز) مع زيادة زمن الإظهار



الشكل 4-7. خصائص الفيلم في أزمنة الاظهار المختلفة

5. سرعة الفيلم (الحساسية) Film speed (sensitivity)

في الوحدات المطلقة، يتم تعريف سرعة الفيلم على أنها الجرعة الكلية المتفاعلة بالرونتجن (roentgen (R) لطيف شعاعي معين لتنتج كثافة معينة على الفيلم.

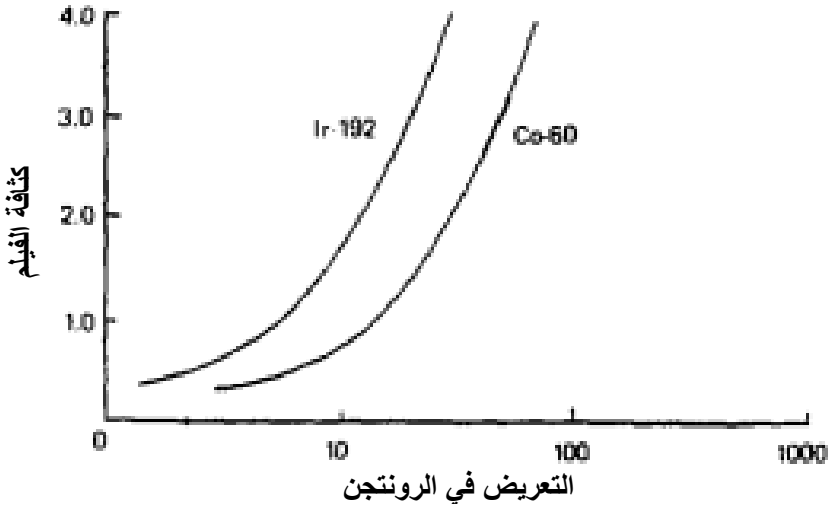
توجد طرق لتحديد سرعة الفيلم في المواصفة القياسية الأمريكية PH2. 1964-8، في وثيقة المعهد الدولي لـ اللحام IIS / IIW-184-65 والمعيار البريطاني BS 5230 . في التصوير الشعاعي ، يشار عادةً إلى العلاقة بين: التعريض

[coulomb/kg of air (C/kg), 1 C/kg = 3876 R] والكثافة الناتجة باسم سرعة الفيلم.

بخلاف التصوير العادي (normal photography) حيث تتم الإشارة إلى سرعة الفيلم برقم DIN أو ASA ، لا تحمل أفلام التصوير الشعاعي الصناعي رقم سرعة معترفاً به دولياً.

الطريقة المقبولة عموماً لقياس سرعة الفيلم للأفلام الشعاعية هي قياس التعريض المطلوب لتحقيق كثافة 2.0 فوق القاعدة والضبابية (base and fog)، باستخدام تقنية معالجة محددة. يتم عرض قيم التعريض النسبية المختلفة لعدة أنواع من الأفلام في الجداول 9-1, 9-2 , 9-3 ص (24-25).

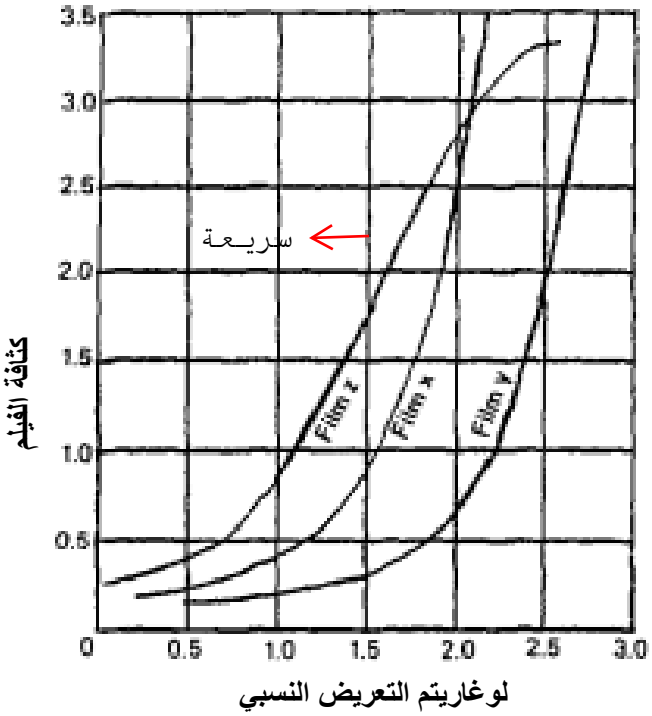
بحسب الطريقة القياسية الأمريكية يتم تعريض الفيلم لكثافات (فوق الضبابية) من حوالي 0.20 إلى 3.0، بمصدر محدد جيداً للإشعاع. و يتم قياس كل تعريض بشكل مناسب في الرونتجن. ثم يتم رسم الكثافات مقابل لوغاريتم التعريض ومن هذا المنحنى المميّز للتعريض يمكن الحصول على التعريض المطلوب لإنتاج الكثافة 1.5 فوق مستوى الضبابية و يتم اتخاذ سرعة الفيلم من هذا التعريض.



الشكل 1.5 تأثير تغيير جودة الإشعاع على المنحنى المميز للفيلم D2 Instructurix

تعتمد سرعة الفيلم، بالمعالجة العادية، على حجم الحبيبات و على طاقة الإشعاع. بشكل عام، الفيلم ذو الحبيبات الكبيرة يكون أسرع من منطلق توصيف السرعة. تم توضيح انخفاض سرعة الفيلم مع زيادة الطاقة في الشكل 5-1.

نظراً لأنها مختلفة ومن الصعب اجراء قياسات مطلقة لتحديد سرعة الفيلم لمعظم الأغراض العملية، فمن الصحيح، وبالتالي مريحة وفعالة استخدام السرعات النسبية. يتم تقييم السرعة النسبية للفيلم من خلال موضع منحناه المميز على طول محور اللوغاريتم E بالنسبة لمنحنيات أفلام الأخرى.

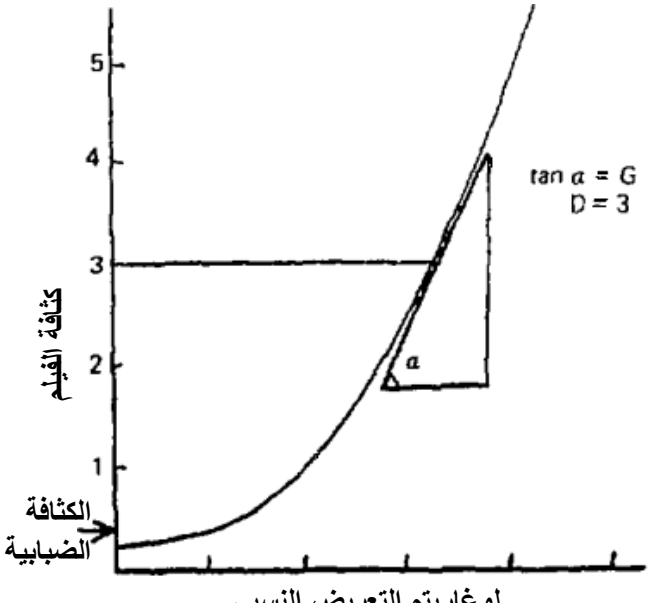


الشكل 2.5 منحنيات مميزة من ثلاثة أفلام شعاعية صناعية نموذجية

في الشكل 5-2 منحنيات الأفلام المصورة المختلفة متباعدة على طول محور لوغاريتم التعريض النسبي. ينشأ تباعد المنحنى من الفرق في السرعة النسبية - تتوضع منحنيات الأفلام الأسرع باتجاه اليسار والأفلام البطيئة نحو اليمين. من هذه المنحنيات يمكن قراءة التعريض النسبي لإنتاج كثافة ثابتة؛ والسرعات النسبية متناسبة عكساً مع هذا التعريض. السرعات النسبية ليست بالضرورة هي نفسها عند الكثافات المختلفة بسبب الفرق بين شكل منحنى وآخر. السرعة النسبية تختلف أيضاً مع جودة الإشعاع. وذلك لأن أنواع الأفلام المختلفة لا تُبدي، استجابة مماثلة للإشعاع بطاقات مختلفة. عادةً ما يربط مصنعي الأفلام سرعات أفلامهم النسبية بأحد أفلامهم التي قاموا بتعيين قيمة سرعته المرجعية.

6. الحبيبية Graininess

عندما يتم عرض فيلم شعاعي مُعالج بالتفصيل على شاشة مضيئة ، تظهر اختلافات دقيقة في الكثافة في شكل بنية خشنة. يُطلق على هذا الانطباع المرئي اسم " الحُبيبيّة " ويؤسس قياس هذه الظاهرة درجة من "التدرجيّة - granularity".



الشكل 6-1 المنحنى المميز النموذجي لفيلم الأشعة "مباشر".

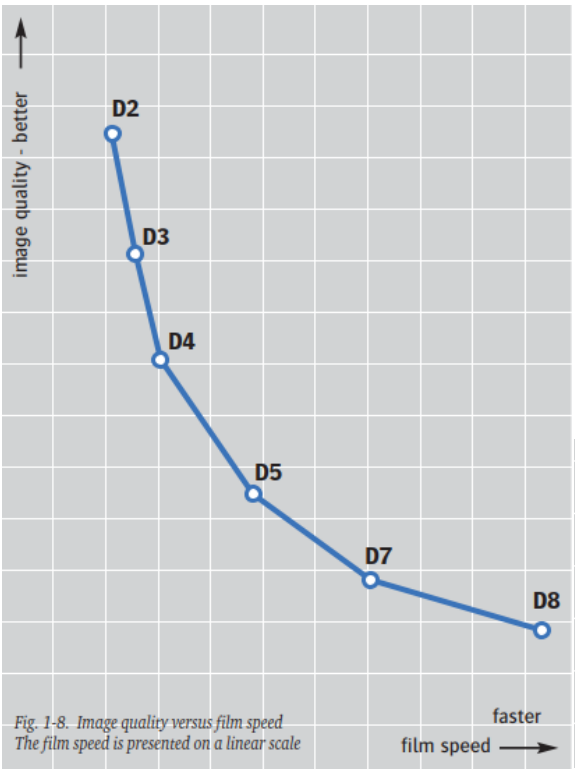


Fig. 1-8. Image quality versus film speed
The film speed is presented on a linear scale

الشكل 6-2. جودة الصورة مقابل سرعة الفيلم
يتم عرض سرعة الفيلم على مقياس خطي

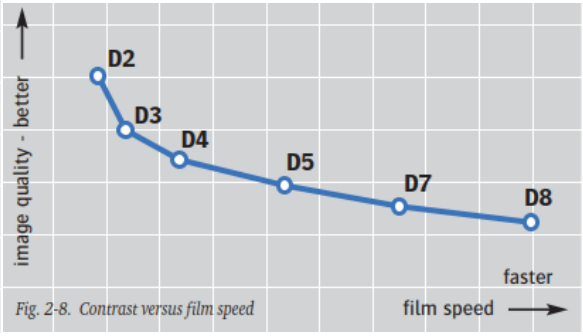


Fig. 2-8. Contrast versus film speed

الشكل 6-3. التباين مقابل سرعة الفيلم

تعتمد درجة حدة الصورة التي يمكن تسجيلها على الفيلم، من بين أمور أخرى على حجم وتوزيع حبيبات الفضة المُظهرة في المستحلب. بشكل عام، حبيبات أصغر ، يعني يمكن رؤية تفاصيل أدق. هنالك عاملان يؤثران على حدودية الأفلام، الحبيبية وتأثير الإلكترونات الثانوية. الحبيبية هي حالة ذاتية تسببها التقلب الإحصائي في عدد الحبيبات المُظهرة لكل وحدة مساحة من الفيلم المشاهد (viewed). تعتمد الحبيبية على:

(أ) نوع الفيلم المستخدم: أفلام الحبيبات الخشنة تعطي انطباعاً أكبر من الحبيبية من الأفلام البطيئة

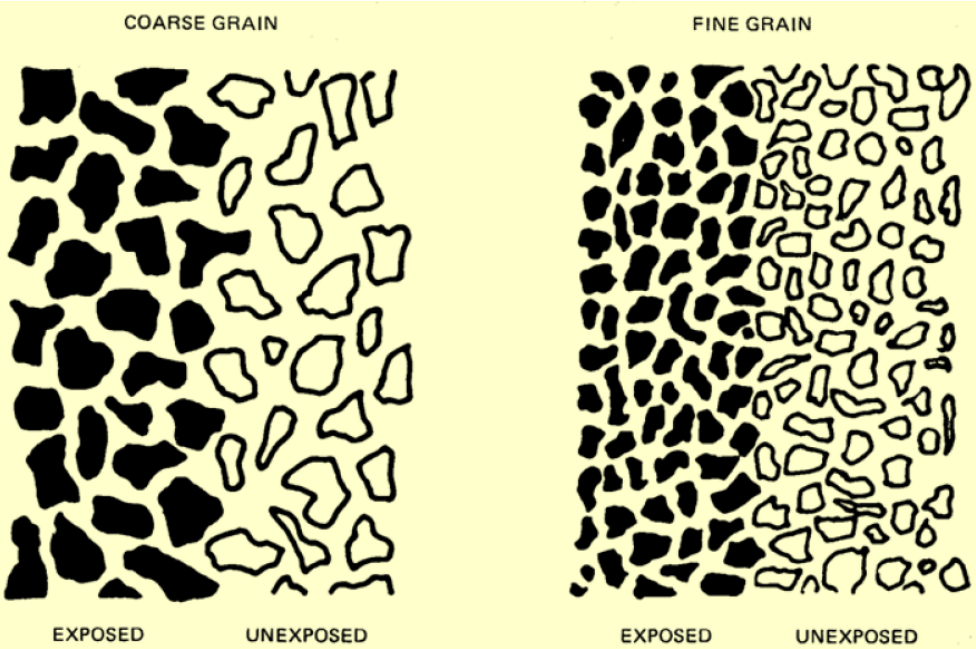
(ب) جودة اشعاع التعريض ؛ زيادة في الطاقة الإشعاعية نتئج زيادة في الحبيبية

(ج) درجة الإظهار؛ تؤدي أزمنة الإظهار الطويلة إلى زيادة الحبيبية. لا يوجد تقريباً تأثير على الحبيبية مهما طال زمن الإظهار المستخدم لتعويض درجة حرارة المُظهر

(د) نوع الشاشة: تزداد الحبيبية مع الشاشات الفلوريسنتية بشكل كبير مع زيادة طاقة الإشعاع. وهذا يحصر استخدام الشاشات الفلوريسنتية بإشعاع الطاقة المنخفضة. شاشات الرصاص لها تأثير ضئيل على حبيبية الصورة في أي طاقة للإشعاع.

تأثير الإلكترونات الثانوية، الصادرة عن امتصاص كمية من طاقة غاما أو X، هو أن تتعرّض حبيبات المستحلب المجاورة لحبيبة امتصت في البداية الكمية الأولية. هذا الانتشار للإلكترونات، يسبّب في عدم وضوح الصورة. وعادةً ما يعرف هذا التأثير باسم عدم حدة الفيلم المتأصلة، U_F. زيادة طاقة

الإشعاع تزيد عدم حدة الفيلم المتأصلة مع زيادة الطاقات الحركية للإلكترونات الثانوية. يعطي الجدول 1-6 قيم عدم حدة الفيلم للنوع المباشر لمجموعة من الطاقات الإشعاعية.



الشكل 6-4 تأثير حجم الحبيبات على جودة الصورة

الجدول 6-1 عدم حدة الفيلم Unsharpness عند طاقات مختلفة لـ X و Gamma

الإشعاع (مفلتر)	U_f مم
50KV X-ray	0.03
100KV X-ray	0.05
200KV X-ray	0.09
300KV X-ray	0.12
400KV X-ray	0.15
1000KV X-ray (1MV)	0.24
2MV X-ray	0.32
5.5MV X-ray	0.46
8MV X-ray	0.60
18M V X-ray	0.80
31MV X-rays	0.97
Iridium - 192 gamma rays	0.13
Cesium - 137 gamma rays	0.28
Cobalt - 60 gamma rays	0.35
Ytterbium - 169 gamma rays	0.07 - 0.10[a]

[a]: تعتمد القيم على سماكة الشاشات

7. التحديد أو الحدودية

التحديد أو الحدة هما المصطلحات الشعاعية التي تُستخدم للإشارة إلى تمايز الحدود بين الكثافات المختلفة ووضوح التفاصيل الجديدة في الصورة.

يتم سرد العوامل التي تؤثر على وضوح حدة الصورة في التصوير الشعاعي في الجدول 7-1. تصبح حبيبات الفضة خشنة مع زيادة الكيلوفولت، ويحدث ذلك بشكل أكثر وضوحاً عند استخدم الشاشات الفلوريسنتية. يجب أن تؤخذ هذه العوامل في الاعتبار عند إجراء الصور الشعاعية لاستخدامها في الفحص الدقيق للعينات.

الجدول 7-1 العوامل التي تحدد حدوديّة الصورة الشعاعية

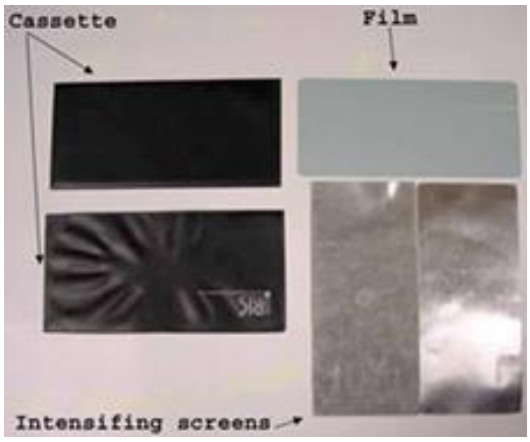
	ارتفاع	→	الحدوديّة	←	انخفاض
عوامل متعلقة بالتعريض	-----	→	حركة معدات الأشعة السينية	←	كبير
	-----	→	حركة الجسم	←	كبير
	الجيد	→	الاتصال بين الشاشات و الفيلم	←	الضعيف
	القصيرة	→	المسافة بين الفيلم و الجسم	←	الطويلة
	الطويلة	→	المسافة من المنبع إلى الفيلم	←	القصيرة
	الصغيرة	→	مساحة التركيز المحرقي	←	الكبيرة
	الرقيقة	→	سماكة العينة	←	الكبيرة
	المنخفض	→	الكيلوفولت	←	المرتفع

8 شاشات التعزيز (Intensifying screens)

تستخدم الشاشات المعزّزة لتعزيز تأثير الإشعاع لتحسين التباين .

تتكوّن الصورة الشعاعية من نسبة 1٪ فقط من كمية طاقة الإشعاع التي يتعرّض لها الفيلم. و يمر الباقي عبر الفيلم وبالتالي لا يتم استخدامه.

للاستفادة من المزيد من الطاقة الإشعاعية المتاحة ، يتم وضع الفيلم بين شاشتي تعزيز. تُستخدم أنواع مختلفة من المواد لهذا الغرض.

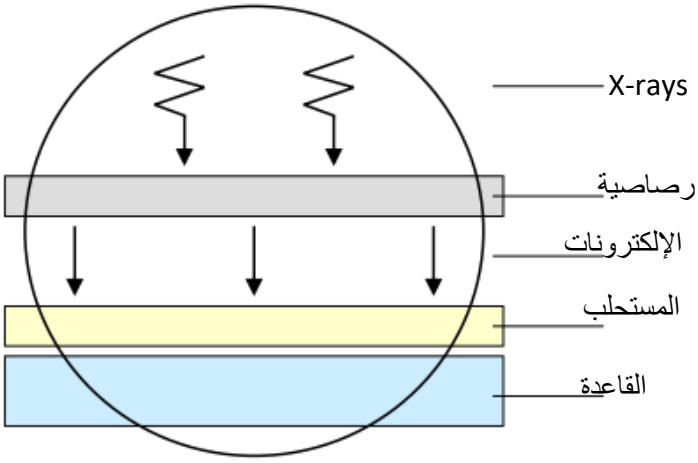


الشكل (8-1) الفيلم و شاشات الرصاص و الكاسيت

8-1 شاشات الرصاص Lead screens

تحت تأثير الأشعة السينية وأشعة غاما ، تصدر شاشات الرصاص إلكترونات يكون الفيلم حساساً لها. يستخدام هذا التأثير في التصوير الشعاعي الصناعي: يتم وضع الفيلم بين طبقتين من الرصاص لتحقيق التأثير المعزّز وتحسين الكثافة للعامل 4 تقريباً . تُستخدم طريقة التعزيز هذه في مجال الطاقة من 80 كيلو فولت إلى 420 كيلو فولت ، وتنطبق بنفس الدرجة على الأشعة السينية أو أشعة غاما ، كالأشعة

التي يُنتجها الإيريديوم 192. تتكوّن شاشات التعزيز من صفيحتين متجانستين من رقائق الرصاص (ملتصقة بقاعدة رقيقة من الورق أو الكرتون) يتم وضع الفيلم بينهما: ما يسمى بالشاشات الأمامية والخلفية.



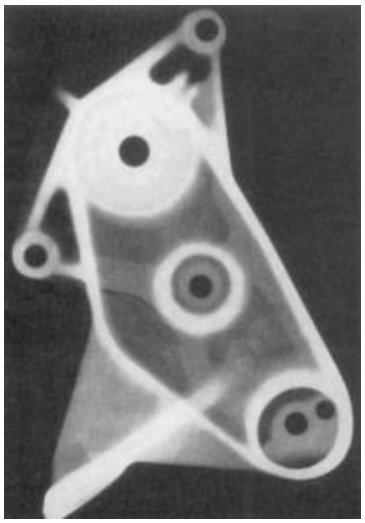
معامل التعزيز	منخفض
امتصاص الأشعة المبعثرة	نعم
تحديد الصورة	مرتفع

الشكل (8-2) شاشات الرصاص

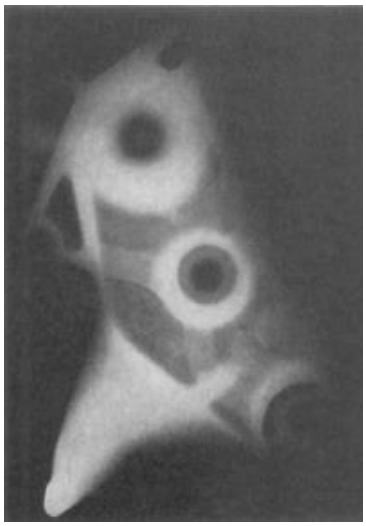
يجب أن تتناسب سماكة الشاشة الأمامية (جهة المنبع) مع قساوة الإشعاع الذي يتم استخدامه ، بحيث تمرّر الإشعاع الأساسي مع إيقاف قدر الإمكان للإشعاع الثانوي (الذي له طول موجي أطول وبالتالي يكون أقل اختراقاً). عادةً ما تكون سماكة رقائق الرصاص للشاشة الأمامية من 0.02 إلى 0.15 مم. لا تعمل الشاشة الأمامية كمعزّز للإشعاع الأساسي فحسب ، بل تعمل أيضاً كمرشح ماص للإشعاع المبعثر الأقل قساوة، والذي يدخل بالجزء بزاوية مائلة ، انظر الشكل 5-3. سماكة الشاشة الخلفية ليس بالغ الأهمية وعادةً ما يكون تقريبياً 0.25 مم . يكون سطح شاشات الرصاص مصقولاً للسماح بتلامس أقرب ما يمكن مع سطح الفيلم. و يجب تجنّب العيوب كالخدوش أو الشقوق على سطح معدن الشاشات لأنها ستظهر في الصورة الشعاعية. توجد أيضاً كاسيتات أفلام أشعة سينية في السوق مع شاشات رصاص مدمجة و مخلاة من الهواء (vacuum) معبأ لضمان الاتصال المثالي بين المستحلب (emulsion) وسطح رقائق الرصاص. يوضح الشكل 3 8-a والشكل 3 b -8 بوضوح التأثير الإيجابي لاستخدام شاشات الرصاص.

تلخيصاً ، تأثيرات استخدام شاشات الرصاص هي:

- تحسين التباين وتفاصيل الصورة كنتيجة لتقليل التشتّت و التبعثر
- تقليل زمن التعرض



الشكل b 3 - 8. صورة شعاعية لمصبوبة مع شاشات تعزيز الرصاص



الشكل a 3- 8. صورة شعاعية لمصبوبة بدون شاشات تعزيز الرصاص

2.8 شاشات الفولاذ والنحاس Steel and copper screens

الرصاص ليس أفضل مادة كشاشات تعزيز، بالنسبة للإشعاع عالي الطاقة. مع أشعة غاما (Cobalt60) ثبت أن النحاس أو الفولاذ تُنتج صوراً شعاعية ذات جودة أفضل من شاشات الرصاص. ومع الأشعة السينية ذات الجهد العالي في مجال الطاقة 5-8 ميغا إلكترون فولت (الليناك) تُنتج الشاشات النحاسية السميكة صوراً شعاعية أفضل من شاشات الرصاص بأي سماكة.

3.8 الشاشات الفلوريسنتية Fluorescent screens

يستخدم مصطلح الفلوريسنتي (غالباً ما يفهم خطأ على أنه الفسفرة phosphorescence) للإشارة إلى خاصية مادة ما لإصدار الضوء على الفور تحت تأثير الإشعاع الكهرومغناطيسي. في اللحظة التي يتوقّف فيها الإشعاع ، يتوقّف تأثير الإضاءة كذلك. يتم استخدام هذه الظاهرة بشكل جيد في فيلم التصوير الشعاعي. تصدر بعض المواد الكثير من الضوء عند تعرضّها للإشعاع المؤين ، بحيث يكون لها تأثير أكبر على الفيلم الحساس للضوء أكثر من تأثير الإشعاع المؤين المباشر نفسه.

• يستخدم مصطلح الفسفرة لوصف نفس ظاهرة الإضاءة ، ولكن بمجرد توقف الإشعاع الكهرومغناطيسي ، يتلاشى الضوء ببطء (ما يسمى بالتوهج اللاحق - after-glow).

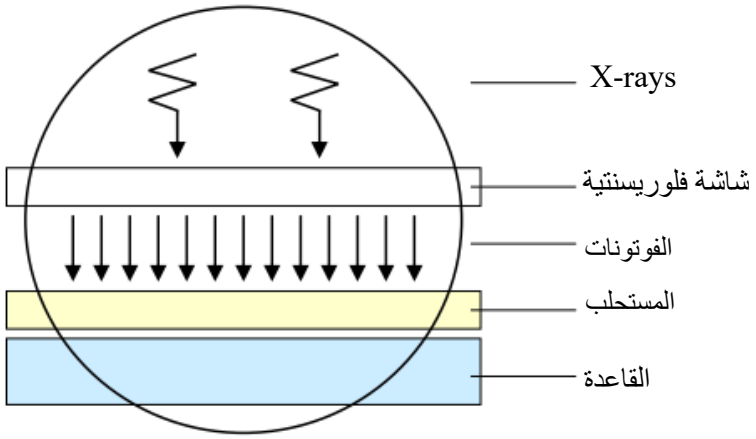
• تستخدم الـ NDT بالإضافة إلى ذلك "تأثير الذاكرة" في بعض مركبات الفوسفور لتخزين صورة شعاعية كامنة من أجل اظهارها لاحقاً إلى صورة مرئية بمساعدة تحفيز الليزر.

4.8 الشاشات الملحية الفلوريسنتية Fluorescent salt screens

تتكوّن الشاشات الفلوريسنتية من قاعدة رقيقة ومرنة مغطاة بطبقة فلوريسنتية مكوّنة من بلورات دقيقة من ملح معدني مناسب (عادةً تنغستات الكالسيوم) والتي تتألق عند التعرّض للإشعاع. يجعل الإشعاع الشاشة تضيء. شدة الضوء تتناسب طردياً مع شدة الإشعاع. باستخدام هذه الشاشات ، يمكن تحقيق عامل تعزيز مرتفع للغاية يبلغ 50 ، مما يعني تقليل زمن التعريض بشكل كبير. ومع ذلك ، فإن جودة الصورة رديئة بسبب زيادة عدم وضوح حدود الصورة (un sharpness).

تستخدم الشاشات الفلوريسنتية فقط في التصوير الشعاعي الصناعي عند اجراء تخفيض جذري لزمن التعريض ، بالاقتران مع الكشف عن العيوب الكبيرة.

عامل التعزيز	مرتفع
امتصاص الإشعاع المتناثر	لا
تحديد الصورة	منخفض



الشكل (8-4) شاشة فلوريسنتية

5.8 الشاشات الفلورية المعدنية Fluor metallic screens

بصرف النظر عن شاشات التعزيز الفلوريسنتية والرصاصية ، توجد شاشات فلورية معدنية والتي تجمع إلى حد ما بين مزايا كليهما. يتم توفير هذه الشاشات بورق رصاص (lead foil) بين قاعدة الفيلم وطبقة الفلورسنت. هذا النوع من الشاشات مخصص للاستخدام مع ما يسمى بفيلم RCF (فيلم الدورة السريعة - Rapid Cycle Film) من النوعين F6 أو F8.

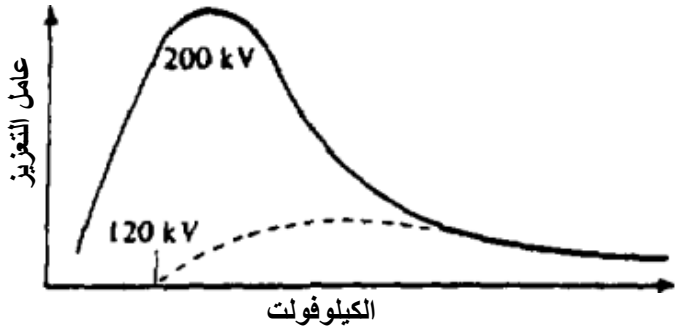
تعتمد درجة التعزيز التي تم تحقيقها إلى حد كبير على الحساسية الطيفية لـ فيلم الأشعة السينية للضوء المنبعث من الشاشات. نظراً لتقليل زمن التعريض بشكل كبير ، يكون التطبيق جذاباً للعمل في المنشآت البحرية وفي المصافي.

6.8 عامل التعزيز

يتم التعبير عن عامل التعزيز باعتباره نسبة التعريض من دون استخدام الشاشات إلى تلك التي تستخدم الشاشات كما يلي: عامل التعزيز = التعريض من دون شاشات \ التعريض مع شاشات

ويختلف عامل التعزيز مع الكيلوفولت و ودارات مجموعة الأشعة السينية المستخدمة.

يوضح الشكل 8-5 عامل التعزيز مقارنة مع الكيلوفولت المستخدمة للشاشات الملحية والرصاصية.



الشكل 8-5 اختلاف عامل التعزيز مع الكيلوفولت

الشاشات الرصاصية يتم الحصول على تأثير التعزيز فقط فوق 120 kV بينما يتم الحصول على أقصى تأثير تعزيز فوق الـ 200 KV مع الشاشات الملحية. و هذا هو السبب في أن الشاشات الملحية نادراً ما تستخدم مع أشعة غاما.

9 أنواع الأفلام و حفظها

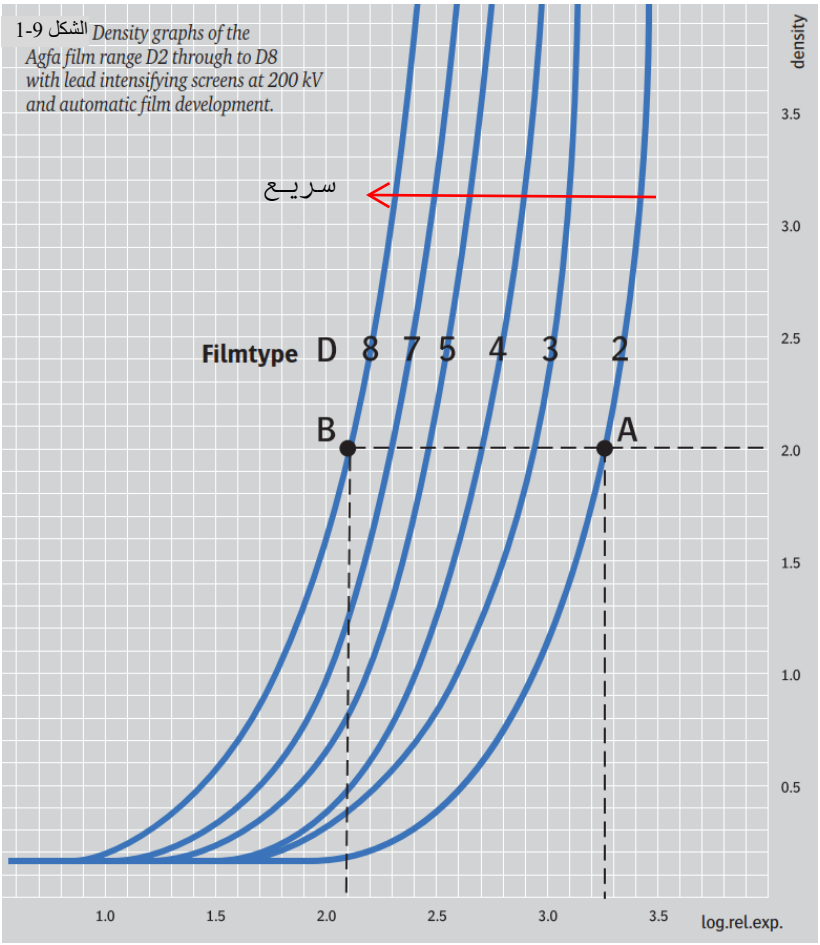
يتم انتاج الأفلام الشعاعية الصناعية من قبل عدد محدود من الشركات المصنّعة في مجموعة متنوعة للاستخدام مع أو بدون شاشات معزّزة وفلاتر. لا يعتمد اختيار نوع معين من الأفلام على اقتصاديته فحسب ، بل يعتمد بشكل خاص على جودة الصورة المطلوبة.

1.9 تشكيلة Agfa من أنواع الأفلام

تشتمل مجموعة أفلام التصوير الشعاعي القياسية الصناعية على الأنواع التالية في تسلسل زيادة السرعة والدقة: D2 و D3 و D4 و D5 و D7 و D8 ، مع استكمالها بأفلام سريعة جداً F6 و F8.

يتم استخدام فيلم D2 شديد النعومة في التصوير الشعاعي للمكونات الصغيرة جداً ، عندما يتم تطبيق التكبير البصري للسماح بملاحظة التفاصيل الدقيقة جداً . يوجد D3 أيضاً باسم D3 s.c. (طبقة واحدة) كبديل لـ D2 ومناسب للغاية لعمليات التكبير البصري في حالة المكونات الصغيرة جداً التي تتطلّب عوامل تكبير كبيرة للصورة. يستخدم D8 لفحص المسبوكات الكبيرة والخرسانة المسلحة بالفولاذ.

يوضح الشكل (9-1) العلاقة بين سرعة الفيلم وجودة الصورة و تباين الفيلم على التوالي.



الشكل 9-1. الرسوم البيانية للكثافة لفيلم Agfa تتراوح من D2 إلى D8 مع شاشات تعزيز الرصاص عند 200 كيلو فولت وتحميض آلي للفيلم.
ملاحظة:عملية الاظهار للشكل 9-1 أعلاه: أوتوماتيكي ، دورة 8 دقائق ، زمن غمر 100 ثانية في مُظهر G135 عند 28° مئوية.

تم ادراج جزء من مجموعة أفلام Agfa مع عوامل التعريض النسبية وتصنيف الكود في الجدول 9-1 لشدات إشعاع مختلفة:

Film type	Relative exposure factors					Film system Class	
	100 kV (1)	200 kV (2)	300 kV (3)	Ir192 (4)	Co60	EN 584 -1	ASTM E 1815
D2	9.0	7.0		8.0	9.0	C1	Special
D3	4.1	4.3		5.0	5.0	C2	1
D4	3.0	2.7		3.0	3.0	C3	1
D5	1.7	1.5		1.5	1.5	C4	1
D7	**1.0**	**1.0**	**1.0**	**1.0**	**1.0**	C5	2
D8	0.6	0.6		0.6	0,6	C6	3
F6+RCF (5)	0.174		0.132	0.389	0.562		
F8+RCF (5)	0.03		0.022	0.035	0.040		

الجدول 9-1 قائمة بأفلام Agfa المختلفة وعوامل التعريض النسبية وتصنيف نظام الأفلام.
ملاحظة 1: من الشائع مقارنة عوامل التعريض النسبية مع تلك الخاصة بفيلم D7 ، والتي تظهر بالخط العريض كقيمة مرجعية 1.0 في الجدول.

ملاحظة 2: تشير الأرقام من (1) إلى (5) المستخدمة في الجدول إلى استخدام أنواع الشاشات التالية:

(1) بدون شاشات الرصاص	(2) مع شاشة رصاص سماكة 0.027 مم	(3) مع شاشة رصاص سماكة 0.027 مم
(4) مع شاشة رصاص ، أمامية 0.10 مم ، وخلفية بسماكة 0.15 مم	(5) مع شاشة فلورو ميتالك (RCF)	

ملاحظة 3: عملية التحميض للجدول 1-9: آلي ، دورة 8 دقائق ، زمن غمر 100 ثانية في مظهر G135 عند 28°

الملاحظة 4: لا يعتمد عامل التعريض النسبي على شدة الإشعاع فحسب ، بل يعتمد أيضاً على زمن التعريض ، وبالتالي فهو ليس قيمة ثابتة.

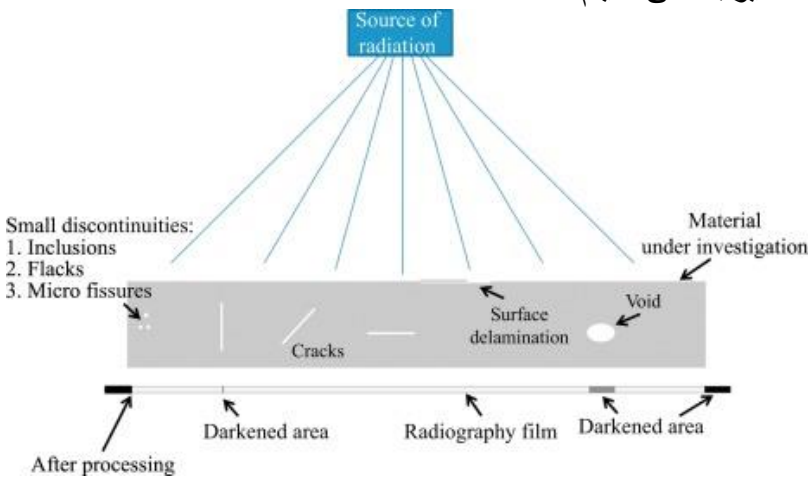
الجدول 9-2. أفلام التصوير الشعاعي الصناعي كوداك

الفيلم	الشاشات	عامل التعريض (بالنسبة إلى الفيلم (Industrex AA 400			التصنيف	
		100 KV	KV 200	Ir-192	Co-60	ASTM
Induslrex R (طبقة واحدة)	مع أو بدون شاشات رصاص	14	13	12	10	1
Industrex R (طبقة مزدوجة)		16	15	14	12	1
Industrex MX		50	45	35	30	1
Industrex TMX		60	60	55	50	1
Industrex T		80	70	65	55	1
Industrex AX		100	100	10U	100	2
Industrex AA		100	100	100	100	2
كوداك رقم - فيلم شاشة						3
كوداك فيلم العلامة التجارية الزرقاء	شاشة ملحية	-	-	-	-	4

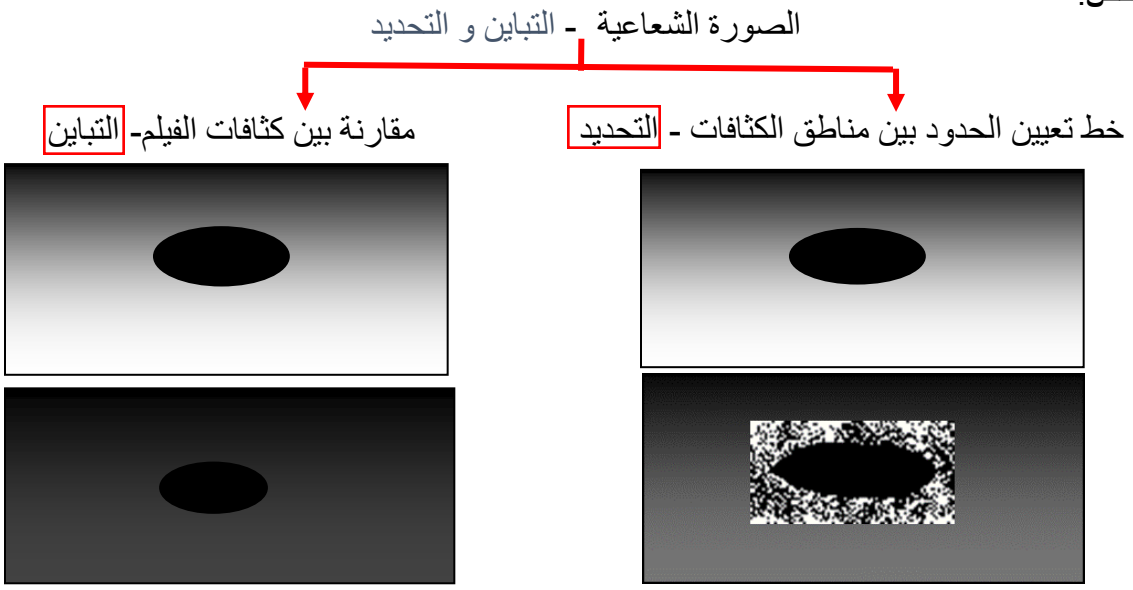
الجدول 9-3 أفلام الأشعة الصناعية فوجي

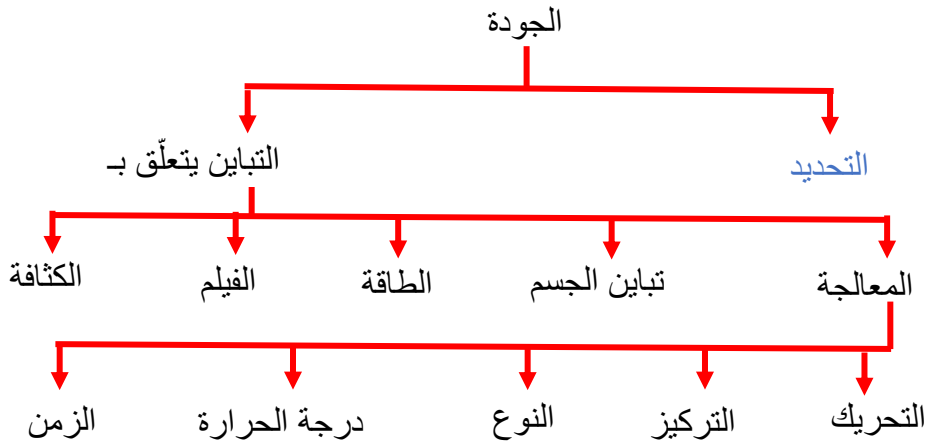
الفيلم	الشاشات	السرعة النسبية (النوع رقم 100 كمعيار)			التصنيف	
		X-Rays	Co-60	X-rays مع شاشات الفلورومعدنية (SMP308)	الشاشات الفلوريسنتية (KZ-S-F)	ASTM
50 #	مع أو بدون شاشات رصاص	25	25	-	-	1
80 #		5	50	25	-	1
100 #		100	100	100	100	2
150 #		180	180	-	-	3
400 #	شاشات فلوريسنتية			1000	1000	4

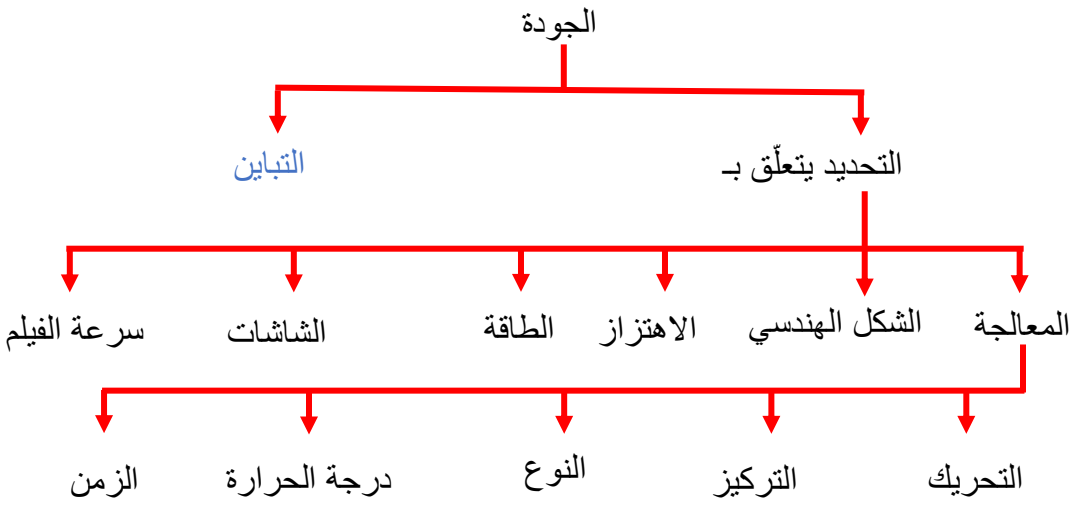
مثال على تشكّل العيوب على الفيلم :



ملخص:


الصورة الشعاعية - التباين و التحديد
خط تعيين الحدود بين مناطق الكثافات - التحديد
مقارنة بين كثافات الفيلم- التباين

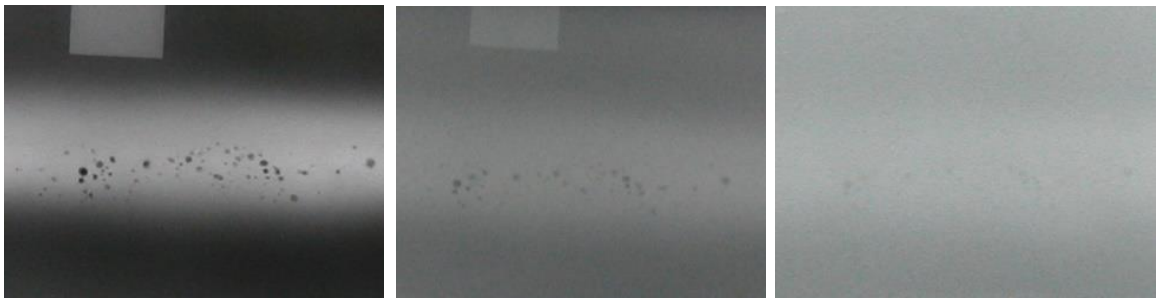

الجودة
التحديد
التباين يتعلّق بـ
المعالجة
تباين الجسم
الطاقة
الفيلم
الكثافة
التحريك
التركيز
النوع
درجة الحرارة
الزمن


الجودة
التحديد يتعلّق بـ
التباين
المعالجة
الشكل الهندسي
الاهتزاز
الطاقة
الشاشات
سرعة الفيلم
التحريك
التركيز
النوع
درجة الحرارة
الزمن

10. أمثلة على العوامل المؤثرة في جودة الصورة

- **الطاقة الإشعاعية (اختلاف المنبع)**

X-Ray (150kVp) ^{192}Ir ^{60}Co



10مم فولاذ

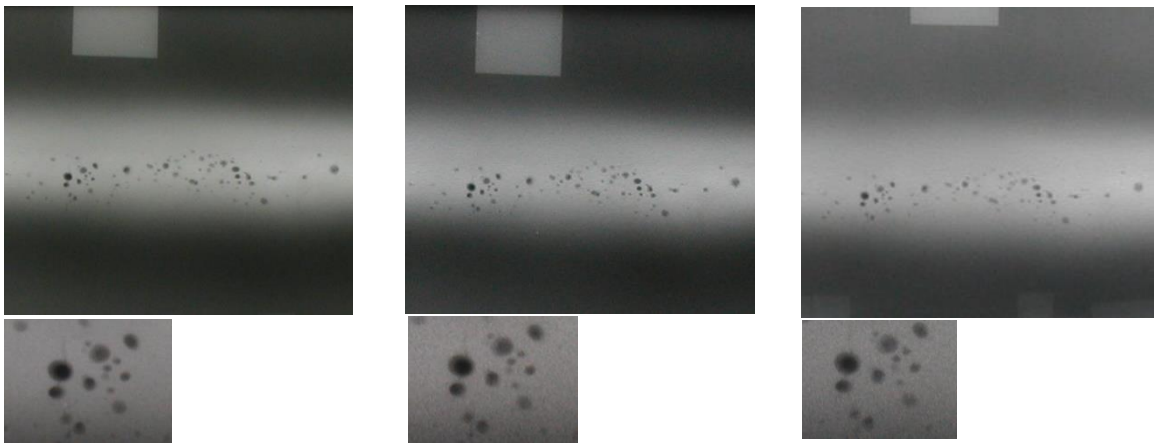
الشكل (10-1) اختلاف تباين الفيلم باختلاف نوع المنبع

- **حبيبية الفيلم**

الفيلم: Fuji IX 50
زمن التعريض : دقيقة 4.8

الفيلم: Fuji IX 100
زمن التعريض : دقيقة 1.6

الفيلم: Fuji IX 150
زمن التعريض : دقيقة 1.0



150kVp , 10mm Steel

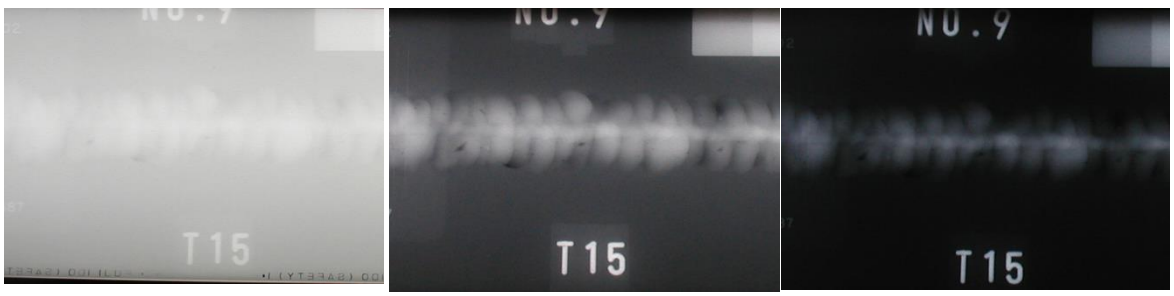
الشكل (10-2) حبيبية الفيلم باختلاف نوع الفيلم و زمن التعريض

- **كثافة الفيلم**

زمن التعريض: 0.5 دقيقة
الكثافة: 0.55～0.75

زمن التعريض: 2.5 دقيقة
الكثافة: 1.80～2.90

زمن التعريض: 4.0 دقيقة
الكثافة: 3.00～4.50

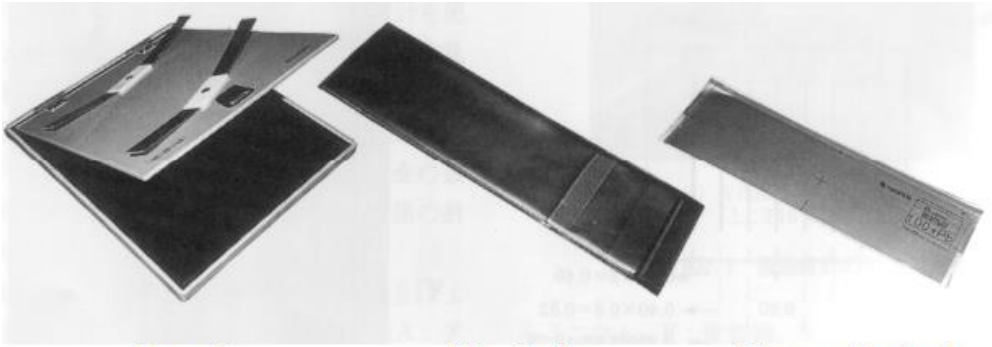


190kVp , 15mm Steel

الشكل (10-3) اختلاف الكثافة مع زمن التعريض

11. تداول الأفلام والشاشات

تتوفّر الأفلام والشاشات في مجموعة متنوعة من الأحجام والتعليب. على سبيل المثال كعناصر منفصلة لإنشاء مجموعة مشتركة من الفيلم والشاشة أو معدة بالكامل للعمل و التعبئة في ضوء النهار بما في ذلك شاشات الرصاص والمخلاة من الهواء (Vacupac) لضمان أفضل اتصال ممكن بين الفيلم والشاشات. تتوفّر الأفلام ذات الشاشات على شكل لفة رول (Rollpac) للقص بأطوال مناسبة ، أو حتى قص مسبق بطول محدد للمهام الكبيرة التي تتطلّب أعداداً كبيرة من أطوال الأفلام المتطابقة ، على سبيل المثال لفحص اللحام المحيطي بخطوط الأنابيب لمسافات طويلة.



الشكل (11-1) الكاسيت و حامل الفيلم و فيلم مقصوص من رول

الشكل (11-2) تعليب الفيلم و رول الفيلم والشركات المصنعة

1.11 اختيار نوع الفيلم

تعتمد معظم اجراء ات و معايير قواعد الممارسة الجيدة لأداء التصوير الشعاعي الصناعي على اختيار نوع الفيلم لتطبيق معين على أنظمة تصنيف EN أو ASTM. لفحص اللحام ، عندما يحاول المرء اكتشاف الشقوق الصغيرة ، يتم تحديد فيلم من الفئة C2 أو C3. لفحص المسبوكات أو التصوير الشعاعي العام ، عادةً ما يتم استخدام فيلم من الفئة C4 أو C5. لفحص المكونات الصغيرة، حيث يمكن عرض الصورة تحت التكبير للكشف عن تفاصيل صغيرة ، سيكون من المرغوب فيه استخدام فيلم من الفئة C2 أو حتى فيلم بمستحلب واحد (single emulsion film) من الفئة C1.
في التصوير الشعاعي عالي الجهد ، لأن معظم المعدات لديها ناتج إشعاع عالٍ جداً ، يمكن استخدام أفلام الفئة C3 للأشياء ذات سماكة الجدار الكبيرة. هذا له ميزة أنه يمكن تحقيق تدرج فيلم عالي.

2.11 أحجام الفيلم

يتم توحيد أحجام الأفلام في التصوير الشعاعي الصناعي إلى حد كبير وفقاً لـ ISO 5565 . الأحجام غير القياسية ممكنة. يتم توفير أحجام الأفلام القياسية والشاشات المعدنية بشكل منفصل، ولكن يمكن أيضاً توفيره معبأ بالفراغ بحيث يتم تقليل مخاطر عيوب الفيلم بشكل كبير.
لفحص اللحام ، يوجد ما يسمى بشريط فيلم Rollpac في السوق والذي يتوفّر بشكل لفة رول مع شاشة الرصاص. بالنسبة للمشاريع الكبيرة جداً ، يمكن قص الفيلم الشريطي مسبقاً ليناسب طول لحام معين أو محيط الأنبوب / الوعاء.

3.11 التعامل مع الأفلام غير المعرّضة وتخزينها

تلعب الظروف التي يتم فيها التعامل مع الأفلام غير المعرّضة وتخزينها دوراً مهماً للغاية في الجودة النهائية للفيلم المعرّض. وترد توصيات التعامل والتخزين ، على سبيل المثال ، في ASTM E1254.
يجب تجنّب "التعريض المسبق" نتيجة لإشعاع الخلفية لأنه يسبّب ضبابية غير مقبولة للفيلم.
في حالة الاحتفاظ بالأفلام لفترة طويلة ، يجب أن تكون شروط التخزين التالية محققة:

- مستويات إشعاع الخلفية أقل من 90 nGray
- درجات حرارة أقل من 24 درجة مئوية
- مستويات الرطوبة النسبية أقل من 60٪
- بعيداً عن المواد الكيميائية الخاصة بأفلام الأشعة
- يفضّل أن تكون مكدسة على حافتها

على المدى الطويل ، سوف تحدث ضبابية طفيفة للأفلام المخزّنة. ضبابية الخلفية لكثافة 0.3 كحد أقصى تعتبر مقبولة.

Film RT ◄	Film RT ◄	Film RT ◄	Film RT ◄
كاسيت صغير طري فيلم معبأ مع دون شاشات رصاصية	كاسيت فيلم صلب معبأ مع دون شاشات رصاصية	كاسيت طري فيلم معبأ من دون شاشات رصاصية	كاسيت فيلم معبأ مع شاشات رصاصية