الباب الخامس
المرقيات والحوامل الحفزية

obeikandl.com

obeikandl.com

البـــاب الخامس

" المرقيات والحوامل الحفزية "

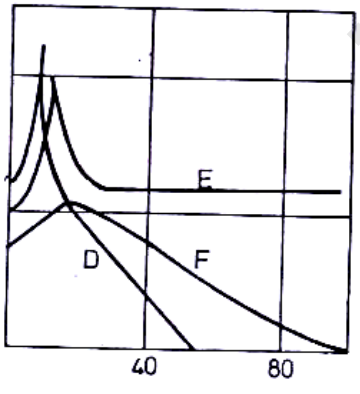
عند إضافة مادة مثل **B** إلى عامل مثل **A** الذي يشتمل على مكون واحـــد، تتكون نواتج عديدة من جراء التغيرات التي تطرأ على طبيعة العامل المساعد مـــن حيث الخواص الطبيعية والمتانة والمسامية وغيرها . وعند تفحص سطح العامـــل المساعد الجديد فإنه يمكن تمييز المساحات التالية عليه :

(أ) مساحات خاصة بالمادة **A** .

(ب) مساحات خاصة بالمادة **B** .

(ج) مساحات تشتمل على المادتين **A** و **B** بشكل محلـــول صـــلب أو مركـــب كيميائي .

تسمى المادة المضافة (**B**) بالمرقى **Promoter** عندما تسبب الإضـــافة القليلة منها أقل من عشرة بالمائة من تكوين العامل المساعد إلى زيادة ملحوظة في الفعل المساعد، ويبين الشكل التالي نماذج من المرقيات .



نماذج من فعل المرقيات

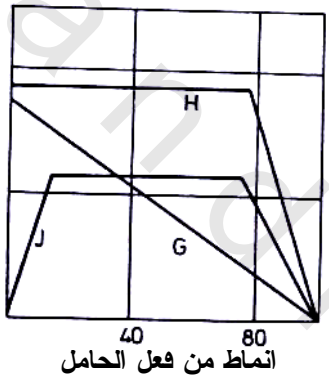
D – المرقي غير الفعال ، E – المرقي له فعالية ايجابية ،

F – النتائج التجريبية لا تكفي لتباين شكل المنحني

obeikandl.com

وتزداد الفعالية في هذه المواد إلى الحد الأقصى عند بلوغ تركيز معين تركيز حرج من المرقى في العامل المساعد، ثم تقل فعالية العامل المساعد مع تزايد تركيز المرقى حتى يختفي الفعل المساعد كليًا، أو يبقى الفعل المساعد عند حد معين وذلك على مدى من تركيز المرقى .

تسمى المادة المضافة **B** بالحامل **Carrier** عندما تؤلف كمية ملموسة في كيان العامل المساعد . وتكون مهمة الحامل تحسين الخواص الفيزيائية للعامل المساعد . ولا يتمتع الحامل بأي فعل مساعد ويبقى الفعل المساعد مقتصرًا على المادة المساعدة **A** . يلاحظ في الشكل التالي ثلاثة أنماط من الحوامل .

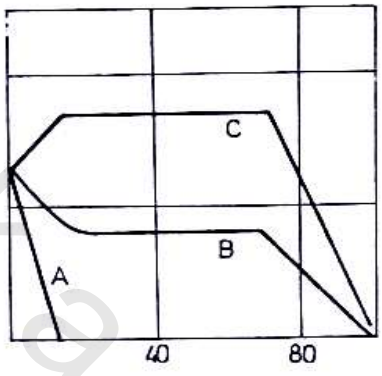


انماط من فعل الحامل

G – تخفيف مباشر ، H – تخفيف متأخر ، J – منع التبلد

والخط **G** في الشكل يبين أبسط أنواع الحوامل، حيث يقتصر دوره على تخفيف حدة الفعل المساعد وتوزيعه على مساحة أوسع . وقد تبقى فعالية العامل المساعد ثابتة بوجود مقادير كبيرة من الحامل مع العامل المساعد وتقل الفعالية في هذه الحالة كما في الخط **H** في الشكل . ويوصف هذا النمط من تأثير الحامل في الفعل المساعد بالتخفيف المتأخر **Delayed Dilution** .

وقد تسبب إضافة المادة **B** إلى العامل المساعد **A** زيادة ملحوظة في الفعل المساعد كما في **J** وذلك نتيجة لفعل المادة المضافة على إزالة بعض الخواص السلبية للعامل المساعد . وتقل فعالية العامل المساعد **A** إذا لم تكن هناك فعالية إضافية للمادة **B** كما في الشكل التالي .



تكوين مركب في عامل مساعد يشتمل علي مكونين

A – االمركب غير الفعال ، B – المركب أقل فعالية من المكون الأول ،

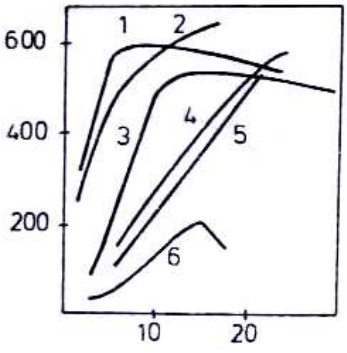
C – المركب أكثر فعالية من المكون الأول .

وإذا كان للمركب الجديد المتكون من **A** و **B** فعالية مساعدة أكثر شأنًا (كما في الخط **C**) أو أقل شأنًا (وفق الخط **B**) فإن مثل هذه الفعالية تستمر على مدى أوسع من التركيز قياسًا بالحالة قبل إضافة المادة **B** .

المرقيات : Promoters :-

تمت دراسة اختزال أوكسيد الكاربون بواسطة الهيدروجين باستعمال العامل المساعد النيكل المسند **Supported Nickel** الذي يحتوي على مقادير مختلفة من الأكاسيد كعوامل مساعدة، وكانت نتيجة الدراسة مبينة في الشكل التالي وتدل نتيجة الدراسة على تركيز المرقى اللازم لعملية الاختزال يختلف تبعًا لنوع الأوكسيد

المستعمل . حيث أن إضافة المرقى تسبب دائمًا زيادة أولية ملحوظة في سرعة تفاعل الاختزال .



(1) Ce_2O_3 , (2) ThO_2 , (3) ThO_2 , (4) BeO , (5) BeO

وقد يؤثر المرقى في الفعل المساعد نتيجة لتغييره التركيب الالكتروني للعامل المساعد الصلب، بحيث يزداد الفعل المساعد لكل وحدة مساحة . ويحدث هذا تمامًا عند إضافة أوكسيد البوتاسيوم إلى الحديد المستعمل كعامل مساعد في تحضير الأمونيا .

وقد يكون لتفاعل كيميائي مسارات ونواتج متباينة، فيكون دور المرقى في مثل هذه الحالة زيادة حدة التفاعل في مسار معين دون غيره بحيث يتيسر الحصول على ناتج معين دون سواه . والمثال على هذا السلوك هو أوكسيد البوتاسيوم المضاف إلى العامل المساعد كروميًا – الألومنيا المستعمل لتحويل الهبتان إلى طولوين .

وقد تقل فعالية العامل المساعد مع زيادة زمن استعماله في تفاعل كيميائي بسبب حدوث تفاعلات كالتكسير والبلمرة التي تؤدي إلى اتساخ **Fouling** العامل المساعد . ومثل هذه التفاعلات تحدث عادة على الواقع الحامضية من سطح العامل المساعد مسببة تسمم السطح وتناقص فعاليته في التفاعل .

فعـل الحامـل : Carrier Action :-

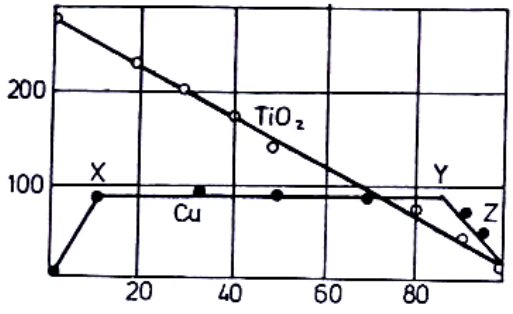
يفيد الحامل **Carrier** المضاف إلى عامل مساعد في تحسين خواصه الطبيعية وزيادة المساحة السطحية للمواد الفعالة فيه . ويحدث في العادة تفاعل بين الحامل والمكون الفعال في العامل المساعد مما ينتج عنه تغير ملحوظ في طبيعة العامل المساعد .

ويتوقف مقدار ما يحدث من تغير في الفعل المساعد نتيجة إضافة الحامل إليه على المساحة السطحية الفعلية للعامل المساعد . فإذا كانت هذه المساحة كبيرة فإن دور الحامل يقتصر عندئذ على التخفيف حيث يصبح الحامل كعامل مخفف خامل ، ويصبح تناقص الفعالية مع الزمن أكثر انتظامًا وثباتًا .

وإذا كانت مساحة العامل المساعد المسند **Supported Catalyst** معتدلة، فإن إضافة الحامل سيكون لها تأثير قليل على الفعالية طالما كان تركيز المكون الفعال في العامل المساعد كبيرًا، وتقل الفعالية فقط عندما يصبح تركيز المكون الفعال في العامل المساعد صغيرًا جدًا، ويدعي هذا السلوك بالتخفيف المتأخر **Delayed Dilution** .

أما إذا كان العامل المساعد من النوع الذي تتقلص مساحته السطحية بسرعة كبيرة فإن إضافة الحامل إليه تسبب عندئذ زيادة ملحوظة في الفعل المساعد .

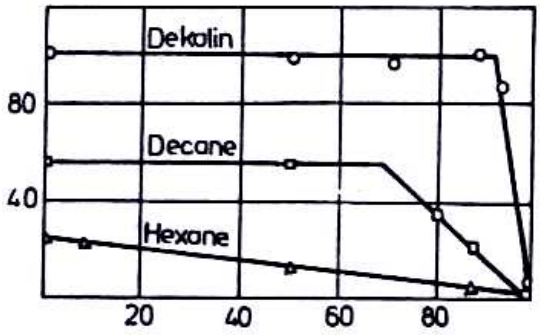
ولقد استعملت المواد TiO_2 و **Cu** كعوامل مساعدة في تفاعل إزالة الهيدروجين من الديكالبين عند درجة **500** مئوية وذلك بعد إضافة حامل مثل أوكسيد المغنسيوم **MgO** إلى هذه المواد المساعدة في الشكل التالي .



فعل الحامل مع العوامل المساعدة من النحاس وأوكسيد التيتانيوم المستخدمة لازالة الهيدروجين من الديكالين بدرجة 500 مئوية . الحامل المستدم هو أوكسيد المغنسيوم . منع التبلد يبدأ عند X والتخفيف عند Y . أما عند Z فان الأوكسيد لا يختزل الي الفلز .

وقد وجد أن العامل المساعد المسند **$TiO_2.MgO$** يمتاز بمساحة سطحية كبيرة وأن دور الحامل فيه يقتصر على التخفيف . والمساحة السطحية للعامل المساعد الخالي من الحامل غير مستقرة وتتقلص بسرعة خلال ساعات قليلة عقب تحضيرها . والملاحظ أن أوكسيد المغنسيوم يضفى استقرارًا مشهودًا للعامل المساعد بحيث تتوقف المساحة السطحية عن التقلص ويحافظ على مساحة سطحية شبه ثابتة .

وقد لوحظت ظاهرة التخفيف المتأخر عند استعمال أوكسيد الكروم كحامل كما هو واضح في الشكل التالي وذلك في تفاعل تفكك الديكالين والديكان والهكسان حيث يتضح من الشكل أن تركيز العامل المساعد الذي يبدأ عنده التخفيف يعتمد على حجم جزيئة الهيدروكاربون .



تأثير تركيز الحامل علي العوامل المساعدة من أوكسيد الكروم

التسمم والإعاقة والاتساخ :-

تتناقص فعالية أي عامل مساعد بنسبة معينة نتيجة الاستعمال . وعندما يكون التناقص ناجمًا عن إضافة كمية قليلة من مادة أو مواد شائبة إلى المواد المتفاعلة أو إلى العامل المساعد فإن العملية هذه توصف بالتسمم **Poisoning** . ويحدث التسمم نتيجة لامتزاز المادة السمية بشدة على سطح العامل المساعد فترتبط جزيئاتها أو ذراتها بروابط قوية بالمراكز الفعالة الموجودة على سطح العامل المساعد .

والتسمم عملية غير معكوسة **Irreversible** أما إذا كان التأثير الناجم عن امتزاز المادة الشائبة على سطح العامل المساعد عكسيًا **Reversible** وقليل الشأن في تقليل فعالية العامل المساعد فإن الظاهرة توصف بالإعاقة **Retardation** .

والإعاقة تنتج أيضًا من الامتزاز المفضل **Preferential Adsorption** لإحدى المواد المتفاعلة أو الناتجة من التفاعل على سطح العامل المساعد . أما الاتساخ **Fouling** فإنه يعبر عن تكوين بقايا كاربونية على سطح العامل المساعد، وذلك نتيجة استعمال العامل المساعد في تفاعلات تشتمل على هيدروكاربونات أو مركبات عضوية .

وتنتج البقايا الكاربونية من تفكك المواد العضوية في درجات الحرارة العالية وتكون فحمية القوام . وقد تنتج البقايا الكاربونية من تفاعلات البلمرة في درجات الحرارة المنخفضة وتكون عندئذ صمغية القوام . وتغطي هذه البقايا الفحمية أو الصمغية سطح العامل المساعد وتقلل بذلك مساحته وفعاليته . ويمكن إزالة هذه البقايا بالاحتراق .

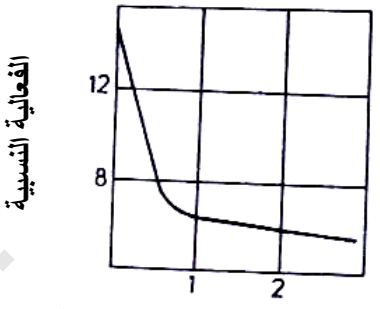
التسمم : Poisoning :-

عند تحضير الأمونيا باستعمال الحديد كعامل مساعد فإن التفاعل يتسمم بسرعة بالغة بوجود كميات قليلة من كبريتيد الهيدروجين أو بخار الماء في إناء التفاعل . وقد وجد أن تأثير كبريتيد الهيدروجين في تحضير الأمونيا يكون دائمًا ملحوظًا والعملية تكون غير عكسية بسبب كبريتيد الحديد المتكون في ظروف التجربة إضافة إلى عدم وجود أية فعالية مساعدة لكبريتيد الحديد الناتج بالنسبة لتحضير الأمونيا .

ويمكن استعادة فعالية العامل المساعد فقط بعد حرق كبريتيد الحديد المتكون وإمرار الهيدروجين عليه وهو ساخن لغرض اختزاله إلى الحديد . أما تأثير بخار الماء في العامل المساعد فيكون في العادة عكسيًا وبالإمكان إزالة تأثيره عن طريق تجفيف الغازات التي تلامس العامل المساعد عن التحضير وقبله . وهناك غازات أخرى مثل ثنائي أوكسيد الكبريت وأكاسيد النتروجين التي تؤثر بنفس الأسلوب على العامل المساعد وتسبب تسمم العامل المساعد بالنسبة لتفاعل تحضير الأمونيا .

ولقد درس بعض العلماء تأثير المواد السمية على البلاتين المستخدم كعامل مساعد في هدرجة المركبات العضوية غير المشبعة وفي تفكك فوق أوكسيد الهيدروجين وفي أكسدة ثنائي أوكسيد الكبريت، وكانت فعالية العامل المساعد دالة

خطية لتركيز المادة السمية . والشكل التالي يوضح هذا السلوك بالنسبة لتحـــضير ثلاثي أوكسيد الكبريت باستعمال البلاتين المتسمم بالزرنيخ .



تأثير المادة السمية علي 0.35 جرام من البلاتين

ويكون تأثير المادة السمية المضافة أول الأمر كبيرًا، ويقل تأثير الكميـــات التالية على الفعل المساعد ويبقى العامل المساعد محافظًا على معدل منخفض مـــن الفعل المساعد مهما كانت كمية المادة السمية .

ويمكن التعبيـــر عـــن فعاليـــة المـــادة الـــسمية بدلالـــة معامـــل التـــسمم **Poisoning Coefficient** الذي نحصل عليه من الجزء الخطي لمنحني التـــسمم كما بالشكل السابق باستخدام العلاقة : $\mathbf{k_c = k_o (1 - \alpha c)}$

حيث $\mathbf{k_c}$ ثابت السرعة النوعي للتفاعل بوجود المقدار **c** من المادة الـــسمية و$\mathbf{k_o}$ ثابت السرعة النوعي للتفاعل عند غياب المادة السمية

ويلاحظ في الشكل أن فعالية العامل المساعد تقل خطيًا مع زيـــادة تركيـــز المادة السمية على سطح العامل المساعد سميًا عند التراكيز الأولى . ويعتمد معامل التسمم α على كسر المادة السمية التي تعاني الامتزاز على السطح، وعلى مساحة

العامل المساعد المغطاة بالمادة السمية، كما ويعتمد معامل التسمم على المساحة السطحية الكلية للعامل المساعد نفسه .

وتصنف المواد التي تسمم البلاتين بشدة إلى ثلاثة أنواع :

(1) الجزيئات التي تحتوي على عنصر من المجموعة الخامسة (ب) والسادسة (ب) من الجدول الدوري (**Vb** أو **VI b**) مثل **N** ، **P** ، **As** ، **Sb** ، **O** ، **S** ، **Se** ، **Te** .

(2) مركبات أو أيونات بعض الفلزات .

(3) الجزيئات المشتملة على روابط مضاعفة (رابطة مزدوجة أو ثلاثية) .

ولقد بين الباحثين أن الأيونات السمية هي تلك التي تشتمل على خمسة الكترونات على الأقل في أوربتالاتها الخمسة من نوع **d** . وينطبق نفس الشيء على المركبات الفلزية السمية . أما الأيونات التي تخلو أغلفة **d** فيها من الالكترونات، وكذلك تلك التي تحتوي على أربعة الكترونات في أغلفة **d** (مثل Cr^{++}) فهي مواد غير سمية **Non – Toxic** .

والغالب أن الكترونات أغلفة **d** في البلاتين هي التي تساهم في تكوين الروابط مع الأيونات والمركبات السمية رغم أن طبيعة الروابط المتكونة غير معروفة بدقة كافية . والمركبات التي تحتوي على عنصر من المجموعة **Vb** أو **VIb** تصبح سامة عندما تمتلك زوجًا من الكترونات التكافؤ القادر على تكوين الرابطة مع سطح العامل المساعد في عملية الامتزاز .

وتدل القياسات المغناطيسية لامتزاز ثنائي مثيل الكبريتيد **Dimethyl Sulphide** على سطح البلاديوم بأن الالكترونات تدخل في

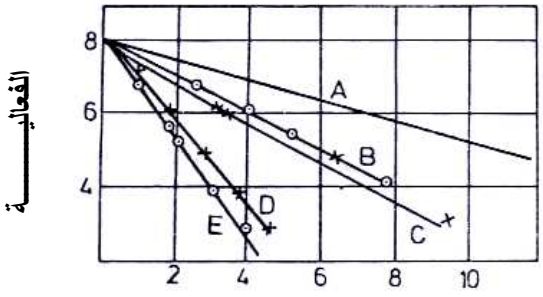
حزمة **d** للفلز مع تكوين روابط تناسقية . كما تبين أن البلاتين لا يتسمم بواسطة الكبريتات أو السلفونات أو السلينات أو التليرات أو الفوسفات، ولكنه يتسمم بالكبريتيد والثايوكبريتات والتترثايانات .

ويمكن التخلص من التأثير السمي للكبريتيدات العضوية، وذلك بتحويلها إلى سلفونات التي تمتاز بتركيب الكتروني مشبع . كما بين العلماء إمكان تحويل المادة السمية إلى مشتق غير سام . فقد وجد أنه عند هدرجة حامض الكروتونيك فإن العامل المساعد البلاتين يتسمم بوجود كميات قليلة من مركبات الكبريت مثل السستين والثايوفين والثايونافثول .

ويمكن تحويل هذه المواد السمية إلى مشتقات غير سامة، ولذلك بإضافة قليل من عامل مؤكسد مثل البرسلفات والبرتنجستات والبروكرومات والبرفوسفات .

وتمت دراسة تأثير تركيب المركب الذي يشتمل على العنصر السام على فعل العامل المساعد وذلك باستعمال سلسلة من مركبات الكبريت مثل كبريتيد الهيدروجين وثنائي كبريتيد الكاربون والثايوفين والسستين وعدد من مركبات كبريتيد الألكيل والثايول الثنائي وثنائي أثيل ثنائي كبريتيد . وقد تبين أن :

أولاً: إن التأثير السمي تجاه فعل البلاتين كعامل مساعد يزداد بازدياد الوزن الجزيئي للمركب كما هو واضح في الشكل التالي، حيث يلاحظ أن التأثير السمي لكبريتيد الهيدروجين قليل بينما يكون التأثير شديدًا مع السستين والثايوفين .



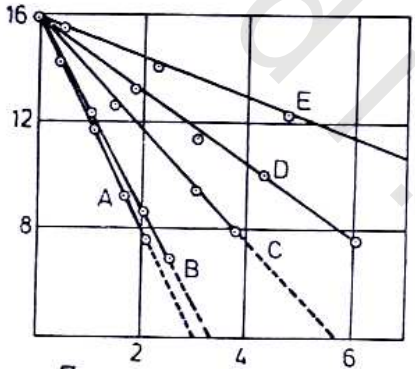
وزن ذري جرامي 10^7 x

تسمم 0.05 جرام من العامل بواسطة

(A) H_2S (B) CS_2 (C) S (D) ثايوفين (E) سيتين

ثانيًا : يقل التأثير السمي مع زيادة طول السلسلة في مجموعة الكبريتيدات .

ثالثًا : إن وجود ذرة كبريت ثانية في الجزيئة التي تمتلك حجمًا معيناً يسبب تقليل سمية المركب إلا إذا كانت ذرتا الكبريت متجاورتين كما في ثنائي أثيل ثنائي كبريتيد . كما يتضح ذلك من الشكل التالي :



المحتوي المسمي – جرامي 10^7 x

تأثير طول السلسلة والتركيب علي سمية مركبات الكبريت

تجاه العامل المياعد البلاتين .

A – ثنائي اثيل ثنائي كبريتيد B – ثنائي اثيل الكبريتيد

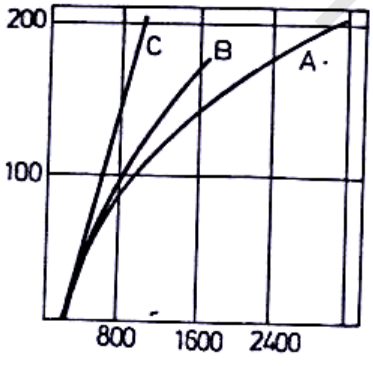
C – ثايول البوتيل D – ثايول البروبيل E – ثنائي ثايول البروبليد

الإعاقـــــة : Retardation :-

الإعاقة هي خفوت الفعل المساعد بتأثير بعض المواد المتفاعلة أو الناتجـــة مـــن التفاعل . وتحدث الإعاقة عندما يغطي سطح العامل المساعد بمقدار محسوس من ناتـــج التفاعل .

كما وتحدث الإعاقة من قبل مادة متفاعلة عندما تشتمل ميكانيكـــة التفاعـــل على امتزاز نوعين من الدقائق على السطح في وقت واحد وبحيث يتم امتزاز أحد النوعين بشدة حتى تغطي دقائقه معظم سطح العامل المساعد فتمنع بـــذلك امتـــزاز دقائق النوع الثاني .

وتظهر الإعاقة عند تفكـــك الأمونيـــا وفـــق الـــشكل التـــالي مـــن قبـــل الهيدروجين عنـــد اســـتخدام الحديـــد كعامـــل مـــساعد فـــي عمليـــة التفكـــك . وتحدث الإعاقة بواسطة الهيدروجين والنتروجين معًا عنـــد اســـتخدام الأوزميـــوم كعامل مساعد . وتنتج الإعاقـــة فـــي أوكـــسيد النتـــروز بواســـطة الأوكـــسجين الناتج من التفكك وذلك عند استخدام عوامل مـــساعدة مثـــل البلاتـــين الإســـفنجي أو خيط البلاتين .



عمر النصف (ثانية)

تفكك الأمونيا علي الأزميوم في درجة 340 مئوية

A – الهيدروجين المضاف B – إضافة نواتج التفكك C – إضافة النيتروجين

وعند هدرجة ثنائي كبريتيد الكاربون على سطح كبريتيد النيكل كعامل مساعد فإن التفاعل يعاني إعاقة شديدة بواسطة ثنائي كبريتيد الكاربون نفسه وذلك عند وجود الهيدروجين بنسبة كبيرة في جهاز التفاعل .

وقد تكون الإعاقة مفيدة في بعض الأحيان . ففي هدرجة الأسيتوفينون إلى ستايرين **Styrene** باستخدام أوكسيد المولبيدنم كعامل مساعد فإن استمرار تحول الهيدروكاربون إلى أثيل البنزين يخف تمامًا عند بقاء بعض الكيتون غير المتحول في جهاز التفاعل .

حفاز الاتساخ : Fouling Catalyst :-

تتكون في كثير من الأحيان بقايا هيدروكاربونية على سطح العامل المساعد نتيجة إجراء بعض التفاعلات المشتملة على الهيدروكاربونات أو المواد العضوية عليه . ويحدث الاتساخ **Fouling** بسرعة على سطح السليكا – الألومنيا والسليكا – مغنيسيًا المستعملين في تفاعل تحطيم وتكسير البترول .
وقد وجد أن سرعة تكوين فحم الكوك تتناسب عكسيًا مع تركيز الكول وفن المعادلة :

$$dc / dt = K / c \qquad \therefore C = \sqrt{2KT}$$

حيث **c** تركيز الكوك و **K** ثابت . وتتناسب فعالية العامل المساعد في تفاعل التكسير عكسيًا مع مقدار ما يحتويه مع الكوك . ويمكن إعادة فعالية العامل المساعد بعد حرق الكوك حرقًا تامًا .

ولقد أجريت دراسة شاملة للبقايا الكاربونية عند إجراء تفاعلات إزالة الهدرجة من هيدروكاربونات مختلفة على سطح أوكسيد الكروم Cr_2O_3 .

فالسايكلو هكسان خلف بقايا كاربونية تحتوي على نسب محسوسة من الهيدروجين والبارافينات والأوليفينات . أما السايكلوبنتان فقد أعطى بقايا كاربونية محضة تقريبًا . أما الألكيلات الأروماتية فقد تركت بقايا من أثيل البنزين شبيهة بالقطران .

ووجد أن فقدان الفعالية للعاملين المساعدين MoO_2 و Cr_2O_3 المستعملين لتحويل الهبتان إلى طولووين ينتج من تفاعل البلمرة إلى مركبات هيدروكاربونية يتم امتزازها على مراكز معينة من سطح العامل المساعد . ويمكن تخفيف حدة فقدان الفعالية وذلك بتجفيف أوكسيد الكروم بواسطة Al_2O_3 ، فتتباعد عندئذ المراكز الفعالة المجاورة لمواقع امتزاز المركبات الهيدروكاربونية .

وتمت كذلك دراسة تأثير المكونات المختلفة لغاز الفحم على هدرجة الثايوفين على سطح كبريتيد الموليبدنوم كعامل مساعد . وكان من جملة المكونات الأثيلين الذي يسبب إعاقة عكسية لتفاعل الهدرجة . أما السايكلو بنتادايين فإنه يسبب اتساخًا دائميًا للعامل المساعد .

وهناك مواد أخرى غير البقايا الكاربونية التي تسبب اتساخ العامل المساعد . فقد وجد أن دقائق الغبار بحجم **0.1** مايكرون تسبب تغطية سطح حبيبات أوكسيد الحديد المرقى وذلك عند وجودها في الغاز المتفاعل فتسبب عندئذ نقصانًا بالغًا في الفعل المساعد لأوكسيد الحديد المستخدم لتحويل غاز الماء .

ويمكن في كثير من الأحيان استرجاع سطح العامل المساعد وإزالة الاتساخ منه وذلك بأكسدة البقايا الكاربونية . كما ويمكن إزالة الاتساخ من العامل المساعد وذلك بمعاملته بمواد كيميائية مناسبة تستطيع التفاعل مع البقايا الكاربونية .

التلبـــــد : Sintering :-

غالبًا ما تقل المساحة السطحية للعامل المساعد نتيجة للاستعمال مما ينـــتج عنه فقدان عكسي في الفعل المساعد، كما تحدث هذه العملية بسرعة أكبـــر كلمـــا ارتفعت درجة الحرارة .

ويحدث انكماش المساحة السطحية عادة نتيجة تناقص العيـــوب البلوريـــة الواقعة على سطح العامل المساعد، وكذلك من جراء حركة الـــذرات والأيونـــات الواقعة على سطح العامل المساعد إلى مواقع أكثر استقرارًا وثباتًا وظاهرة التبلـــد شائعة في الرقوق الفلزية المحضرة بالتبخير .

والتبلد وأن كان يسبب تناقص المساحة السطحية للعامل المساعد فإنه يؤدي في نفس الوقت إلى زيادة ثبات واستقرار العامل المساعد . وتعتبر عمليـــة التبلـــد ضرورية في دراسات الامتزاز لغرض الحفاظ على مساحة ثابتة بالنـــسبة لوحـــدة الكتلة من العامل المساعد .

والرقوق الفلزية المحضرة بالتبخير أكثر عرضة للتبلد مـــن غيرهـــا مـــن العوامل المساعدة نظرًا لضخامة مساحة السطح بالنـــسبة لوحـــدة الكتلـــة قياسًـــا بالعوامـــل المساعدة الأخرى .

ويتوقف مقدار تبلد الرقـــوق الفلزيـــة بتـــأثيرات الحـــرارة علـــى نقـــاط انصهارها . فالفلزات التي تمتلك نقاط انصهار عالية أقـــل عرضـــة للتبلـــد مـــن الفلزات التي تكون نقاط انـــصهارها منخفـــضة . حيـــث أن رق التنجـــستن أقـــل عرضة ، بينمـــا يعـــاني رق الفـــضة والرصـــاص تلبـــدًا ملحوظًـــا حتـــى فـــي درجات الحرارة العادية .