

الباب الحادى عشر الشحن الجبرى Turbocharger

11- مقدمة .

يقوم الشاحن الجبرى بسحب الهواء المحيط بالمحرك من غرفة المحركات ودفعه إلى المحرك عن طريق مبرد الهواء ومواسير السحب وهذا الهواء يساعد على عملية الحريق ويوضع فى الإعتبار كثافة الهواء المحيط بالمحرك فى غرفة الآلات .

كما أن الهواء يزيد وزنه كلما زادت كثافته وبالتالي يزيد الحد الأقصى لوزن الوقود المحقون والذي يؤثر فى الحريق لكل شوط فعال للإسطوانة . وبهذا تحدد أقصى قدرة ينتجها المحرك، ولو أن كثافة الهواء زادت بوسيلة مساعدة مثل ضواغط هواء الطرد المركزى أو الضواغط الترددية والتي تتوسط بين الهواء المحيط بالمحرك والإسطوانة ، ويكون نتيجة لذلك زيادة وزن الهواء لكل شوط فعال . وبذلك يمكن حرق كمية كبيرة من الوقود لنفس الإسطوانة . وبالتالي زيادة القدرة لكل إسطوانة .

وهذه العملية قائمة بذاتها ولا يتطلب أى تحكم خارجى لها ، والقدرة التى تقوم على إدارة الضاغط تكون عامل مهم فى كفاءة تشغيل المحرك ويدار ضاغط الهواء بعدة وسائل منها .

a - وسيلة كهربائية (مروحة هوائية مجهزة بموتور كهربائى) .

b - كتيئة صلب تأخذ حركتها من المحرك مباشرة .

c - مكابس ترددية ملحقة بالماكيئة وتأخذ حركتها من المحرك مباشرة .

d - الحيز الموجود أسفل المكبس .

وكل ما سبق لا يكون إقتصاديا نسبيا فمنها ما يسبب زيادة فى التكلفة المبدئية للتصميم مثل إستخدام الحيز أسفل المكبس مع صعوبة صيانتة كذلك الوسيلة الخارجية بإستخدام مروحة الهواء التى تدار بموتور كهرباء .

أما بالنسبة للبند b , c فى نظام الكبسات الترددية ، والكتيئة الصلب فإنها تأخذ حركتها من المحرك ، وبذلك تسبب فقد فى قدرة المحرك ، وبالتالي الزيادة فى الإستهلاك النوعى للوقود لنفس القدرة التى نحصل عليها من المحرك .

ولكن عند إدارة هذه الوسيلة بطاقة حرارية من المحرك مثل غاز العلام لاحظ المصممون عند دراسة الإتران الحرارى وجود فقد كبير يصل إلى حوالى % 35 من الطاقه الحرارية الكلية الناتجة من حرق الوقود داخل الإسطوانة . ومن

المؤكد فإن الزيادة فى القدرة التى نحصل عليها تتناسب مع الزيادة فى كثافة وكمية الهواء المشحون .

ولقد أدى هذا التفكير إلى إستخدام الشاحن الجبرى turbocharger ، وفى هذه الحالة تدار تربيئة العادم بواسطة غاز عادم المحرك والمعشقة مباشرة بضغط الهواء blower . بمعنى أن يقوم ضاغط الهواء بسحب الهواء المحيط بالمحرك ودفعه الى ماسورة الهواء الداخلة للمحرك .

وفى هذه الحالة فإن القدرة المتولدة من تربيئة العادم تتناسب مع القدرة المبذولة من ضاغط الهواء ، وبالتالي زيادة قدرة المحرك بزيادة كمية الهواء وكمية حقن الوقود .

ومن مميزات نظام الشحن الجبرى للهواء عن طريق الشاحن الجبرى الآتى :

(i) الزيادة الحقيقية فى القدرة المتولدة من المحرك لأى حجم من المحركات وبنفس سرعة المكبس مع إنخفاض حقيقى فى أبعاد المحرك ووزنه لأى قدرة حصانية.

(ii) إنخفاض معدل الإستهلاك النوعى للوقود لجميع أحمال المحرك .

(iii) تخفيض التكلفة المبدئية .

(iv) إنخفاض تكلفة الصيانة نتيجة تحسين حالة الإسطوانة وملحقاتها كصمامات الهواء والعادم فى المحركات رباعية الأشواط وفتحات العادم والحر فى المحركات ثنائية الأشواط .

ومن الطبيعى أن تزيد الضغوط على أجزاء المحرك وبالتالي زيادة الأحمال الواقعة على المكبس وبعض أجزاء المحرك ، وزيادة مشاكل المحرك . وبالتالي تحليل إجهادات التشغيل للأجزاء على التوالى .

11.1-المحركات رباعية الأشواط : Four stroke engine

لقد تم بنجاح تشغيل الشاحن الجبرى مع المحركات رباعية الأشواط أحادية التأثير والحصول على ثلاث أضعاف القدرة المتولدة من المحركات التى لا تعمل بالشاحن الجبرى مع نفس السرعة والأبعاد . وتقريباً وفى وقت واحد فإن المحركات رباعية الأشواط تعمل بنظام الشاحن الجبرى مع طريقة الدفع .

11.2- طريقة الدفع Impulse system :

توافق الشاحن الجبرى مع المحرك . كمية الهواء المفقودة فى عملية الكسح تتطلب السماح بزيادة كثافة هواء الشحن لزيادة كمية الهواء داخل الإسطوانة .

مثلا المحرك الذى يعمل عند الحمل الكامل بضغط متوسط فرملى 10.4 بار سوف يحتاج إلى % 100 زيادة فى كمية الهواء منها % 60 متبقى فى الإسطوانة % 40 تستخدم فى نظافة الإسطوانة .

ويصل الضغط المتوسط المؤثر الفرملى للمحركات الجديدة إلى 28 بار فى بعض الحالات . وتوجد متطلبات كبيرة فى التصميم تتناسب مع زيادة الهواء التى تم الحصول عليه عن طريق الشواحن الجبرية مع ضغط إنضغاط عالى والذى يصل إلى 1: 5 وللتأكد من أن الكسح كافى للإسطوانة فإنه من الطبيعى أن يكون هناك تراكب overlap بين صمام الحر والعام يصل تقريبا إلى 140 درجة من درجات زوايا عمود المرفق وفى هذه الحالة يفتح صمام الهواء عند 80 درجة قبل النقطة الميتة العليا top dead center ويتم قفله عند 40 درجة بعد النقطة الميتة السفلى bottom dead center ، ويفتح صمام العام عند 50 درجة قبل النقطة الميتة السفلى ويقفل عند 60 درجة بعد النقطة الميتة العليا .

وفى المحركات ذات المعدلات العالية والتى يصل الضغط المتوسط المؤثر الفرملى إلى 10.4 بار وبالمقارنة مع المحركات التى تعمل عند ضغط 5.5 بار والتى تعمل بدون شاحن جبرى يصل ضغطها إلى 0.5 بار وينتج عنها نسبة ضغط إنضغاط 1.5 : 1 .

واليوم تصل نسبة ضغط الإنضغاط ما بين 2.5 إلى 4 ، وجميع المحركات رباعية الأشواط الحديثة ذات السرعات المتوسطة تعمل عند ضغوط متوسطة مؤثرة عالية .

وجميع القيم المتلى للقدرة المعطاة والإستهلاك النوعى للوقود تنتج من الطاقة العالية المتولدة من تبيضات غازات العادم .

ويجب أن يؤخذ فى الإعتبار تصميم مواسير غاز عادم المحرك وعدم السماح باختلاطه مع هواء الشحن لإسطوانة أخرى، إما عن طريق النفخ لصمام العام أو بواسطة التداخل عند تصريف غاز العادم من الإسطوانة خلال فترة التراكب overlap period والتى يكون فيها ضغط غاز العادم منخفض عن ضغط هواء الشحن وللتأكد من ذلك معرفة تأثير ضغط هواء الشحن للإسطوانة ومقدرته على كسح جميع الغازات المتبقية بالإسطوانة وكذلك العمل على تبريدها إلى أقل من 240°C ، وهذا يتطابق مع الناحية العملية لو أن شحن الهواء يكون متتابع فى الدخول إلى ماسورة مجمع الهواء. وفترة التراكب هى الفترة التى يكون فيها صمام الحر وصمام العام مفتوحين فى نفس الوقت وتصل فى المحركات رباعية الأشواط إلى 140° من زوايا درجات عمود المرفق . بمعنى أن عدد

الإسطوانات تزيد عن 3 ثلاثة إسطوانات للمحرك وفى هذه الحالة يجب أن يكون عدد التربينات أكثر من واحدة أو وجود مواسير مشتركة لتربينة واحدة . وفى نهاية مواسير العادم توجد فونية تربينة العادم nozzle ring . ونظام مواسير العادم يجب أن يكون صغيراً نسبياً فى الأطوال والأقطار ، والأطوال القصيرة للمواسير من المحتمل أن تقلل من حدوث النبضات العكسية فى خلال فترة الكسح ، وكذلك المواسير الكبيرة تعمل على تخفيض طاقة نبضات العادم ، وأقطار المواسير الصغيرة ربما تزيد من سرعة غاز العادم وبالتالي زيادة الطاقة للنبضات . والمنحنيات الحادة أو التغيير المفاجئ فى مساحة المقطع يجب تجنبه بقدر الإمكان.

1.3 المحركات ثنائية الأشواط Two stroke engine .

بالمقارنة مع المحركات رباعية الأشواط فإن إستخدام هواء الشحن المضغوط فى المحركات البحرية ثنائية الأشواط أكثر تعقيداً . حتى نتأكد من وصول مستوى السرعة والقدرة إلى المستوى المطلوب ، وذلك لعدم دعم تربينة الهواء ذاتياً وفى أحمال المحرك المنخفضة لا يوجد هناك طاقة كاملة فى غازات العادم لتحريك تربينة العادم بالسرعة المطلوبة لتوفير كتلة الهواء المنفعة ، وبالإضافة الى الحركة البطيئة للمكبس خلال فترة الكسح لا تعمل شئ لدعم تدفق الهواء مثل ما فى المحركات رباعية الأشواط وبناءً على ذلك فإن بدء تقويم المحرك يكون من الصعوبة ، ويكون عزم الدوران غير كافى للحمل ويكون الحل هو وجود كباسات لشحن الهواء تأخذ حركتها من المحرك ، وتعمل بالتوالى مع الشاحن التربينى ، وفى المحركات الحديثة تجهز المحركات بمروحة هواء مساعدة تعمل بمصدر كهربائى . وتجهز المحركات ثنائية الأشواط بنوعين من التربينات تعمل بطرق مختلفة وعلى التوالى .

11.4- نظام تربينة الضغط الثابت ، والنبضات .

Constant pressure , pulse system

نظام تربينة الضغط الثابت هو المستخدم فى جميع المحركات بطيئة السرعة ثنائية الأشواط . وعند تشغيل تربينة الضغط الثابت تدخل كل غازات العادم لماسورة العادم العمومية ويعمل هذا النظام على إخماد جميع نبضات العادم لجميع الإسطوانات لتحافظ على وجود ضغط ثابت تقريباً .

ومن مميزات هذا النظام إستخدام ماسورة واحدة بدلاً من مجموعة المواسير المستخدمة فى نظام النبضات مما يودى إلى كفاءة أعلى للشاحن الجبرى وبالتالي

إلى إنخفاض الإستهلاك النوعى للوقود ومميزات أخرى مثل الإختناقات فى مسار الغازات فى حدود معقولة ، والسماح بطول ماسورة العادم يعمل على وجود مرونة كبيرة لمكان وضع تربيئة العادم بالنسبة للمحرك إما فى طرف ماسورة العادم أو كلا الطرفين ، وتوضع ماسورة العادم أعلى ماسورة سحب ماسورة الهواء أو بالجانب الأخر ممددة بجانب المحرك وتعمل بعزل حرارى.

ومن العيوب الرئيسية لنظام الضغط الثابت إفتقاره للإداء عند الأحمال الجزئية لكبر ماسورة العادم نسبياً ، وإحتياج المحرك للهواء المشحون فى حالات التشغيل الأولية ومن نتائجها التعويق فى تسارع الشاحن الجبرى وبالتالي تربيئة الهواء ومن نتائجها أيضاً إفتقار الحريق خلال فترة الإشتعال .

وفى حالة التشغيل بنظام النبضات يكون الحريق البسيط مقبولاً لوجود تواصل بين عوادم الإسطوانات للماسورة المشتركة حوالى 120° والتى يتتابع فيها نبضات غازات العادم نتيجة الإختلاف الكبير للضغط عبر الإسطوانة خلال فترة الكسح عن الناتج من نظام الضغط الثابت ، وهذا من أحسن العوامل لنظافة الإسطوانة .

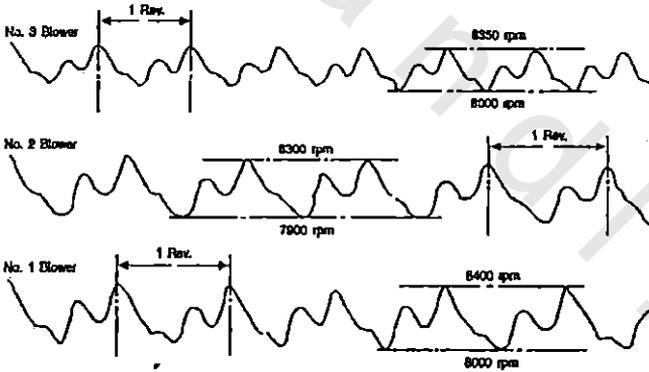


Figure 11-1 Cyclic variations in turboblower revolutions

وشكل 1- 11 يبين العلاقة بين إختلاف سرعة الشاحن الجبرى خلال كل دائرة تشغيل من المحرك ، بمعنى للفة واحدة من المحرك ، وهذا المنحنى يوضح المنحنى الحقيقى للنبضات الداخلة إلى تربيئة العادم ، وتذبذب السرعة حوالى 5% ، وكل إسطوانتين تشترك مع فتحة من فتحات التربيئة والمسافة الزاوية بينهم من 135° إلى 225° من زوايا عمود المرفق ، ومن الطبيعى الآن تركيب مبرد هواء air cooler للمحركات ثنائية الأشواط ويكون موقعه بين تربيئة الهواء والإسطوانات شكل 11-2 .

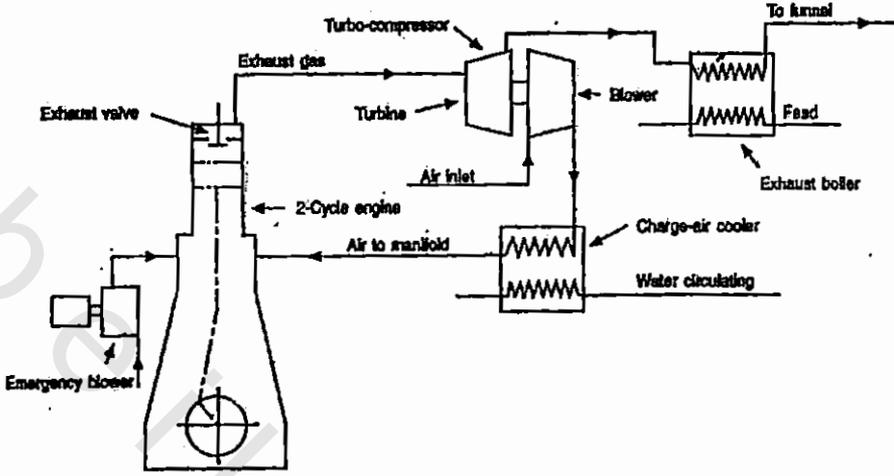


Figure 11-2 Exhaust Turbocharging system

11.5-هواء الشحن المبرد :

كما أنه للحصول على زيادة القدرة الخارجة من المحرك بواسطة زيادة ضغط هواء الشحن تكون نتيجة الزيادة في وزن الهواء داخل الإسطوانة وبالتالي زيادة كمية الوقود المحقون لعملية الحريق ، وزيادة كثافة هواء الشحن تقابلة زيادة في درجة الحرارة نتيجة الضغط الأديباتي لتربية الهواء . وتعتمد كمية الهواء على كفاءة ضاغط الهواء ، والإنخفاض في ضغط الهواء نتيجة زيادة درجة الحرارة تشمل فقد في القوة الكامنة لكمية ضغط هواء الشحن المطلوب .

مثال ذلك : عند شحن هواء بضغط حوالي 5 lb / in^2 (0.35 bar) ترتفع درجة حرارته إلى حوالي 33°C ويقابلها إنخفاض في كثافة هواء الشحن حوالي 10% كما أن كمية هواء الشحن المضغوط يزيد تأثيره على تربية الهواء وتنخفض الزيادة في درجة حرارة الهواء . وعند شحن الهواء بضغط حوالي 10 lb / in^2 (0.7 bar) ترتفع درجة هواء الشحن إلى حوالي 60°C والذي يعادل إنخفاض في كثافة الهواء حوالي 17 % على الأكثر . ويستخدم مبردات للهواء المشحون من المحتمل إستعادة القوة كاملة .

وفي المحركات رباعية الأشواط مع الكميات المعتدلة من هواء الشحن المضغوط لا يستحق الإهتمام بتبريد هواء الشحن ، وفي المحركات الحديثة تم إستخدام

مبردات الهواء ويقابله بعد ذلك الزيادة في كفاءة قدرة المحركات . وتوجد مبردات لهواء الشحن تكون مناسبة ومتميزة في نفس الوقت .

هواء الشحن المبرد له تأثير مضاعف على المحرك كما يلي :
زيادة كثافة هواء الشحن ، ينتج عنها زيادة وزن الهواء المتدفق إلى الإسطوانة ،
وبإنخفاض درجة حرارة هواء الشحن تنخفض درجة غازات العادم والحمل
الحرارى للمحرك ، والحصول على قدرة المحرك كاملة وبدون فقد ، والإقتصاد
في إستهلاك الوقود .

ومن الأهمية فى تصميم مبردات هواء الشحن أن يكون التصميم معتمد على عدم
إنخفاض ضغط الهواء عند المحرك خلافاً لذلك حصول المحرك على ضغط
الهواء المطلوب مع زيادة سرعة تربيئة الهواء .

والأنواع المفضلة من مبردات الهواء هى المصممة للتبريد بواسطة المياه ، مع
التأكد من تأثيرها المرضى وعدم إنخفاض الضغط بجانب الهواء ، وعلى الجانب
الأخر لتبريد الهواء تكون تصميمات المبردات على أن تكون سرعة الهواء بها
11 m/sec (35ft/sec) وسرعة المياه داخل مواسير المياه حوالى
0.75m/sec (2.5ft/sec) .

وتحدد كفاءة مبرد الهواء بنسبة إنخفاض درجة الحرارة للهواء المشحون
وإنخفاض درجة الحرارة المتاحة بين درجة الهواء المشحون الداخلى للمبرد
ودرجة حرارة مياه التبريد الخارجة من المبرد. وتكون هذه النسبة تقريباً حوالى
0.8 .

11.6- أهمية الكسح المناسب .

Importance of adequate scavenging

من الضرورى أن يكون تصميم كل إسطوانة مناسب مع عملية الكسح قبل إستقبال
هواء الشحن النقى المضغوط وعلى عكس ذلك فإن هواء الشحن النقى يتلوث
بغازات العادم المتبقية من الدائرة السابقة ، فضلاً على ذلك أن درجة حرارة
الدائرة ليست بالضرورى أن تكون مرتفعة لو أن درجة حرارة هواء الشحن
إرتفعت باختلاطها مع غازات العادم والملامسة لدرجة الحرارة المرتفعة
للإسطوانة والمكبس .

ومن الضرورى أن يكون ضغط هواء الشحن مناسباً ومرضى مع وجود فرق فى
الضغط بين ماسورة الهواء وماسورة العادم .

الهواء المتدفق للإسطوانة في خلال فترة التراكب والمكتسب درجة حرارة باردة يساعد على زيادة الكفاءة الحجمية وأيضا إنخفاض درجة حرارة الدائرة. أيضا تبريد غازات العادم الخارجة من المحرك نسبيا وذلك للحصول على درجة حرارة عادم مرضية لتشغيل ريش تربينة العادم . وفي المحركات رباعية الأشواط فإن فترة التراكب كما هو مذكور سالفاً تساوى 140° من زوايا عمود المرفق ، وفي المحركات ثنائية الأشواط فإن فترة التراكب للعادم والكسح يكون من الضروري تحديدها بواسطة أخصائي التصميم . وفي شكل 3-1 يبين المقارنة بين عملية الكسح والعادم في حالة المحرك المستخدم للصمام العادم والمحرك ذات المكابس المضادة .

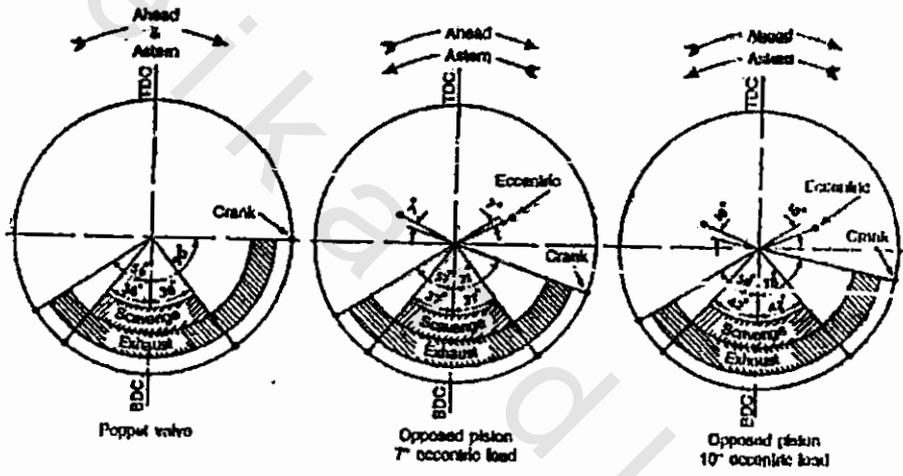


Figure 11- 3 Single acting tow – stroke Engine timing

11.7-توافق الشاحن الجبرى مع المحرك .

Matching of turbocharger and engine.

التوافق السليم بين تربينة الهواء والمحرك لها أهمية كبرى وذلك حسب الحجم المحدد لتربينة الهواء ، ويتم التوافق السليم مع تحديد نوع وحجم محرك الديزل وليس من الضروري التوافق الذاتى للمحركات الأخرى من نفس النوع والحجم . إلا إذا كان قد تم تعديل فى تقنية معدلات المحرك أو فى تصميمه .

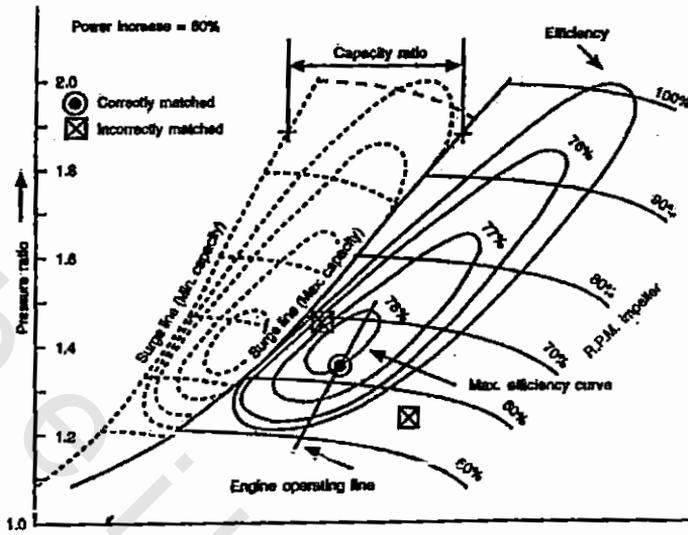


Figure 11-4 Turbocharger characteristic

ومع التوافق السليم يجب أن يعمل المحرك بكفاءة مثالية كما هو مبين بخصائص الشاحن التربينى بالمنحنى أنظر الرسم 4- 11، وفي هذا المنحنى يشير الأحداثى السيني إلى نسبة الضغط لضغط الهواء وعلاقته بالنسبة للسعة ، والكفاءة ، وعدد لفات ضاغط الهواء وخط تشغيل المحرك.

ومن خلال التجربة الأولية لمحرك على فرشة المصنع لحجم محرك جديد ، ومع شاحن هواء بتوصية من الصانع تم تسجيل البيانات وتحليلها ولو أن هناك توافق سليم بين الشاحن التربينى والمحرك . نجد أنه لا يوجد هناك عمل آخر يمكن عمله ، وبالرغم من أن ضاغط الهواء يعمل على إمداد المحرك بالهواء المشحون ، ومع عدم وجود توافق سليم بينهما فإنه يمد المحرك إما بضغط هواء منخفض أو على جداً مما يسبب وجود نباح surging عند تربينة الهواء وفقد التوافق السليم بين شاحن الهواء والمحرك عادة ما يكون من تغيير سعة المحرك أو الناشر Diffuser لتربينة الهواء، وهذا التغيير غالباً ما يكون موجوداً عند تصميم المحرك . وعند تصميم الضاغط يجب مراعاة المحافظة على الكفاءة العالية عند ثبوت نسبة الضغط ، وعادة عندما لا يكون هناك توافق سليم يجب تصحيح وتغيير سعة التربينة وناشر ضاغط الهواء وغالباً ما يتم هذا التغيير بواسطة صناع المحرك فى ورش المحركات ، وبرؤية واضحة لتدفق كتلة من الهواء خلال أشكال متعددة من أشكال الناشر لى مروحة مصممة أن يكون لأقصى مدى وذلك

باستخدام تصميم المراوح المختلفة لكل وحدة بما يتناسب مع الناشر الخاص بها من خلال حجم هيكل الشاحن التربينى
بمعنى لكل حجم وهيكل من المستطاع أن يزود بكتلة متدفقة من الهواء تسع هذا المجال. وبنسب كبيرة لو صغيرة حوالى من 1: 3، وحقيقة تكون الميزة التى نحصل عليها هو تخفيض حجم التربينى مع تغطية متطلبات محرك الديزل من جميع القدرات للدرجة أن تراكب سعة الشاحن الجبرى تزيد من هيكل إلى هيكل آخر . وكل حجم يكون مزود بسعة من نفس الحجم التالى الصغير وبمعامل حوالى 1.6: .

الإنخفاض الكبير لكتلة الهواء أو نسبة الانضغاط عند السرعة المعطاه يكونو سبب فى نباح ضاغط الهواء والنباح يكون بسبب تذبذب الضغط ويصاحبه فقد فى نسبة الانضغاط وكفاءة ضاغط الهواء plower عند السرعة المعطاه ، وبناءً على ذلك يجب تجنبه عند عمل مواعمة لضغط الهواء مع المحرك . وبسبب تدفق كتلة الهواء الكبيرة مع إختناق ضاغط الهواء يؤدي هذا إلى فقد نسبة الانضغاط وكفاءة الضاغط بالإضافة إلى مواعمة ضاغط الهواء مع المحرك فإنه من الضرورى مواعمة تربينة غاز العادم مع ضاغط الهواء أولاً ويتم هذا بواسطة تصميم العضو الدوار rotor ، الريش impeler وحلقة فونية العادم nozzle ring وبهذه الطريقة فإن ريش التربينى العالى يعمل على تعديل الزيادة من خلال حجم ضاغط الهواء المعطى .

وفى هذه الأيام ومع إستخدام الحاسوب، فى تقييم أداء المحرك يمكن التنبؤ بالمواعمة السليمة للشاحن الجبرى بالإضافة إلى أن الحاسوب يمكن إستخدامه للأمتل لكثير من تصميمات المحركات فى المستقبل مثل أحجام مواسير العادم وتوقيت الصمامات وتوقيت الحقن إلخ .
ومن ثم فإن الحاسوب يعرض أبحاث لتحسين وتخفيض تكلفة المحرك .

11.8 النباح Surge :

إن مشاكل النباح فى حالات التشغيل المرضى تكون مهمة جداً . كما هو مبين فى خط النباح شكل 4- 11 ولذى يعثل حدود النباح . والسؤال ماذا يحدث لضغط الهواء عند دورانه ، ويتسارع تدفق الهواء من خلاله ، يترك الهواء ضاغط الهواء بسرعة وينتج عنه ضغط عند الناشر وبسبب أو لأخريقل تدفق الهواء . حينئذ فإن سرعته عند ضاغط الهواء تقل وبهذا يكون هناك وقت لتوليد ضغط أقل للهواء الخارج من ضاغط للهواء ويكون هناك هبوط

مفاجئ للضغط الخارج ، ويتبعه في الحال موجات تضاغطية عكسية في إتجاه ضاغط الهواء وفي حالة إستمرارها تقلل موجات الهواء التضاغطية العكسية بما فيه الكفاية لإستعادة ضغط هواء الشحن مرة أخرى. وفترة إنهيال دفع الهواء في هذه الحالة تسمى بالنباح .

وفي فترة النباح عند السرعات المنخفضة تختلف الأصوات وتكون واضحة مثل الطنين (العواء أو الضوضاء) ويكون هذا في الحدود المعقولة ولفترات قصيرة ربما يكون محتمل وغير ضار.

أما في السرعات العالية فإن النباح لفترة طويلة ربما يسبب تلف لمروحة الضاغط Impler بالإضافة إلى عمل إزعاج محسوس .

ويجب الإنتباه الجيد عند تصميم وإعداد ضاغط الهواء ومن الضروري دائماً مراعاة حدود النباح .

ويظهر النباح عند توقف إحدى الإسطوانات لمحرك تتلقى الأثواط عن الحريق ربما يكون هذا راجع إلى عطب برشاش الوقودتتعا يصل للمحرك بمعدل أعلى من % 40 إلى % 50 عن الحمل الكامل كذلك عند إلتساح مروحة الضاغط أو كسر في ريش تربيئة العلام .

وفي هذه الحالة من الممكن أن تتأثر تربيئة الهواء بالنباح .

وتكرار التخيير في سرعة مروحة الهواء يسبب للضوضاء .

وفي هذه الأحوال فإنه يجب تخفيض عند لفات المحرك حتى إختفاء النباح وإستعادة الحريق لجميع إسطوانات المحرك والعمل على معرفة أسبابه وتلاشيها .

11.9- خصائص الشاحن الجبرى Charatristic of turboblower :

11.9a ضاغط الهواء :

من الإعتبارات المهمة في تصميم الشاحن الجبرى التكلفة المبدئية ، المتانة ، السهولة في الحل والتركيب والصيانة .

وعلى وجه العموم فإن ضاغط الطرد المركزي مهياً لإستخدامه في تربيئة الهواء ومن الضروري أن يتكون ضاغط الهواء من مروحة قطرية في المنتصف مركبة على عمود مرتبط بتربيئة غاز العادم ويتم سحب الهواء ويتدفق خلال ممرات تدخل إلى منتصف ريشة ضاغط الهواء ويندفع بقوة في الإتجاه الخارجى لطرف الريشة ومع إزاحة الهواء يتولد عنه سحب الهواء باستمرار إلى الداخل .

وهذا يعمل على زيادة الهواء المتدفق إلى منتصف الريش .

وبمروره خلال مروحة الهواء ينتج عنه شغل وتزداد قوة دفعه وفى النهاية يترك مروحة الهواء بسرعة عالية مع طاقة حركة كبيرة . ويعتمد الشغل الواقع على الهواء خلال مروره بمروحة الهواء على قطر المروحة وسرعتها .

وعند مغادرته المروحة ودخوله إلى ممرات الجزء الثابت - الناشر - diffuser تتحول طاقة الحركة للهواء إلى طاقة ضغط وعملية التحويل هذه تعرف بعملية الإنتشار ، ولهذا فإن هذا الجزء من الضاغط يسمى بالناشر ، والهواء الخارج من المروحة يكون ضغطه عالى وثابت عند دخوله الناشر ، وفى الحقيقة فإن الضغط الثابت فى ضاغط الهواء يكون متساوى عند الضاغط والناشر وعند مغادرته قطاع الناشر يدخل الهواء إلى الإسطوانة الحلزونية involute التى تعمل على تجميع الهواء ويخرج من فلانجة الناشر بسرعة ثابتة وضغط ثابت .

11.9b - تربيئة العادم : Exhaust turben

لثبيت وإختيار حجم تربيئة الهواء لمحرك متوسط السرعة والمحركات الكبيرة البحرية يكون دائما معظم الإتصال بين تربيئة العادم والهواء من النوع المحورى وعلى عمود واحد ، ويدخل غاز العادم من خلال فوانى مثبتة على إطار يواجه صف ريش متحرك لتربيئة العادم وصف الريش يتكون من ريش مثبتة على إطار مثبت على العمود الدوار وتوجد بينهم ممرات حيث يمر بها الغاز ويرتد فى إتجاه محورى ويتمدد بسرعة عالية مع الإعتبار عند تركه الفوانى الثابتة تتولد قوة دفع مماسة لصف من الريش الدوارة مما يساعد على التمدد وإمتصاص معظم قوة الدفع المماسية وفى نظام تربيئات الضغط الثابت تعمل التربيئة تحت حالة ثابتة تقريبا فى أثناء كل دورة كاملة للمحرك ، مع إستطاعته إدارة التربيئة وفى هذه الحالة من حالات التصميم ينتج عنها كفاءة عالية وفى حالة التشغيل بالنبضات تختلف سرعة التربيئة بنسب بسيطة خلال كل دائرة للمحرك ولكن سرعة الغاز تتغير بين سرعة الصفر والصوت .

وقد يوضع فى الإعتبار نتائج مثلث السرعات للتربيئة وذلك لإختلاف تصميم مثلث السرعات .

وقد يكون التأثير هو علو ريش التربيئة وخروج الغازات بدوامات سريعة ، وفقد فى الضغط العالى وإنخفاض فى الكفاءة بالإضافة إلى السحب الجزئى لتربيئة الهواء .

11.10 بناء تربيئة الهواء *Construction of turbo blower*

يوجد هناك أكثر من نوع لتربيئة الهواء الخاصة بالشاحن الجبرى ومن هذه الأنواع يتم إختيار أحد الشواحن الجبرية الكبيرة شكل 11.5 . والجدول الآتى رقم 11.1 يبين معدل تدفق الهواء فى تربيئات الهواء.

<i>Pressure ratio</i>	<i>Free air delivery</i>
1.5:1	5 500–18 000 ft ³ /min (160–520 m ³ /min)
2.0:1	8 700–22 000 ft ³ /min (250–630 m ³ /min)
2.5:1	11 000–26 000 ft ³ /min (310–740 m ³ /min)

وتصمم تربيئة العادم على أن تتحمل درجة حرارة $650c^0$. والبناء الرئيسى للشاحن الجبرى يتكون من ثلاثة أغلفة رئيسية والتي يمكن ربطها مع بعض مع إختلاف نسب كل منها ولتناسب تركيباتها المختلفة مع مواسير الحر والعادم للمحرك .

ويصنع غلاف تربيئة الحر والعادم من حديد الزهر المسبوك ذو المرونة العالية ومجهز بحيز لتبريد المياه .

والأنواع المختلفة من أغلفة تربيئة الهواء تكون قادرة على أن تتناسب مع التجهيزات المختلفة لحالات نظام تربيئات الدفع – النبضات – وأيضا يكون هناك مدخل واحد للغلاف بتصميم خاص فى حالات تربيئة الضغط الثابت .

وغلاف مدخل ضاغط الهواء وطريق خروجه يصنع من الألومنيوم ، وكذلك يصنع غلاف ضاغط الهواء من معدن الألومنيوم ، ومدخل غلاف ضاغط الهواء مصمم لأقل فقد فى الحركة الديناميكية للهواء *Airdynamic* لأقرب الحالات المثالية ، وكذلك منع الضوضاء عند دخول الهواء خلال الضاغط . ويبطن المدخل باللباد لإمتصاص الضوضاء ، وفلتر الهواء يتكون من قطاعات منفصلة ومثبتة .

يتم تصميم عمود الشاحن الجبرى من نصفين مرتبطين بوصلة مسننة مركب عليها ريش تربيئة العادم والنصف الآخر ريش تربيئة هواء الحر . وتثبت ريش تربيئة العادم على حلقة من المعدن بتعشيقات منها التعشيقة اللولبية ويؤمن تثبيتها بواسطة وردة تثبيت .

وتشتمل مروحة الضاغط على جزئين مصنوعين من الألومنيوم المطروق الناشر و *diffuser* ، النهاية الطرفية للمروحة .

ويوجد أربعة أحجام من المراوح الرئيسية متاحة جميعها في مجال الناشر والتي تسمح بإختلاف عرضه وسعته ، وحجم الناشر مرتبط بحجم عمود التربيننة وأحجام الفوانى الخاصة بها وناشر ترينينة الهواء ، والحلقة الثابتة الحاملة للفوانى من الممكن أن تزيد من حجم الشاحن الجبرى للمحرك وبالتالي تعمل على تسهيل الإتصال الإبتدائى مع المحرك وسهولة عمل الصيانة الكاملة وسحب العمود بالكامل ونظافة أجزائه بدون تلف لوصلات الهواء وغاز العادم المرتبطة بالغلاف.

وحوامل العمود إما أن تكون رولمان بلى أو على شكل بلج ومن الممكن تثبيته بسهولة ، وفى شكل 1-5 يوجد منيم لحوامل رولمان البلى والبلج . والمحامل البسيطة تدور فى جلبة من الصلب الصلد ومن الممكن إخراجها وتغييرها .

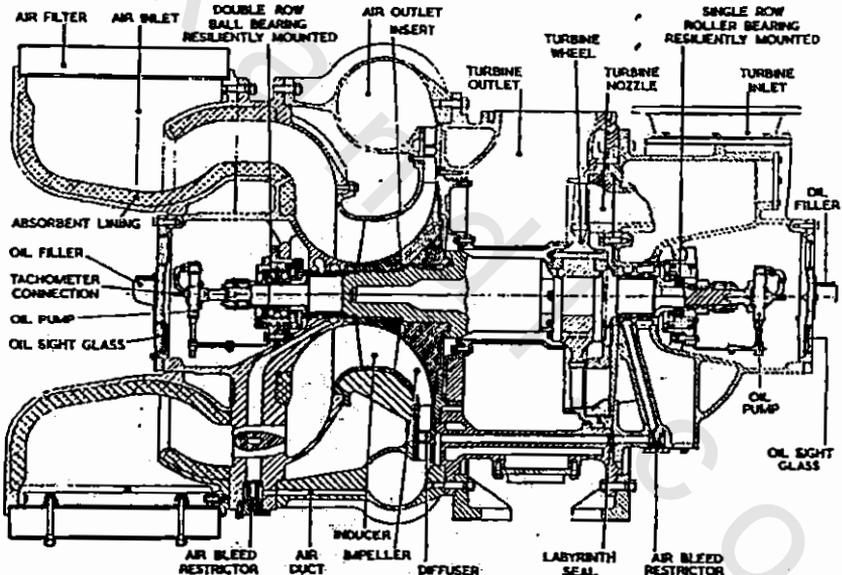


Figure 11-5 Napier turbocharger

أما محامل السبيكة البيضاء الرئيسية تكون أقل فى الحجم ، إذا ما قورنت بالتصميمات السابقة فإن نظام رولمان البلى أو البلج يقلل من الفقد والإحتكاك . ويكون سعة أسطح أعمال التحميل كافية ومناسبة للمحافظة على التشغيل. ويكون كرسى الدفع منفصل عن الكرسى الرئيسى لضغط الهواء ولذلك فإن نظام

تثبيتته في النهاية الطرفية الحرة ، ويمكن ضبطه قبل تركيبه على العمود الدوار .
ويزود بزيت تزييت من منبع خارجي ، وحامل رولمان البلى والبلح فيهما
إختلاف في التصميم .

قد يكونو على هيئة صفيين متلامسين وبينهما زاوية ورولمان البلى مركب على
نهاية العمود لضغط الهواء والذي ينقل الحمل للمحمل bearing ثم إلى البدن ،
ويعمل أيضاً كرسى الدفع لتجنب الحركة المحورية للعمود الإدارة .

وكرسى رولمان البلح يركب على جانب النهاية الطرفية للعمود بجانب تربيئة
العامم . وكلا من الحاملين يعملان على إخماد ومقاومة الضغط والحركة
المحورية ويقوم على تزييت الحاملين طلمبتين ترسيتين منفصلتين ومركبتين في
كل من النهايتين الطرفيتين للعمود . وكليهما تسحب الزيت من وعاء الزيت
الخاص لكل منهما وتدار بواسطة عمود الإدارة . وتربيئة الهواء مصنوعة بعدد
سبعة أحجام رئيسية ، وتغطي الشواحن الجبرية للمحركات رباعية وثنائية
الأشواط من 200 إلى 10000 حصان فرملى وكذلك المحركات ذات القدرات
الكبيرة التي تستخدم أكثر من تربيئة .

وكل الأحجام الكبيرة والمتشابهه مزودة بمحامل رولمان بلى وبلح لتلقى الأحمال
ومنع الحركة المحورية بالتأوب مع كراسى على هيئة جلب .
ومحامل رولمان البلى والبلح مركبة ومثبتة مع المحافظة على نظام التزييت حتى
إذا وصل ميل السفينة من 15° إلى $22,5^{\circ}$ لحظيًا في حالة الأجواء السيئة ،
وأغلفة دخول غاز العادم لتربيئة العادم مصممة على أن يوجد بها اثنين أو ثلاثة
أو أربعة فتحات لدخول غاز العادم في نظام الضغط بالدفع - إلبضات - أما في
نظام الضغط الثابت فتوجد فتحة واحدة .

11.11-مبرد هواء الشحن Charge air cooler:

هواء الشحن المضغوط بواسطة ضاغط الهواء غالبًا ما يتم تبريده بمياه البحر في
وحدات للتبريد تسمى مبردات الهواء ، كل وحدة منها تكون مساحتها تقريبًا 24
بوصة مربعة - 585mm مربع وبطول مناسب لمتطلبات الإستخدام وكل وحدة
يوجد بها 23 ماسورة مصنوعة من سبائك الألومنيوم والنحاس ويقطر خارجي
لكل منها $\frac{7}{16}$ من البوصة (13mm) بتخانة 2.5mm ومقلوطة في الواح دائرية
أو مستطيلة من النحاس الغير سميك ، وتكون خطوة السن 0.1 من البوصة
تقريبًا (2.5mm) . و تثبت المواسير في الألواح من سبيكة برونز المدافع .

وكمية مياه التبريد تحدد بالأبعاد الأساسية والتي تكون مضاعفة للأربعة والعشرون بوصة (585_{mm}) لإستخدامها لأكثر من ثلاثة صفوف بالتوالي والذي ينتج عنها إختلال فى نسب إنخفاض الضغط للهواء المبرد . ويكون المكسب تأثيرة قليل فى المساحة الأمامية ، ومن ثم فإن سرعة هواء الشحن خلال المبرد تكون مناسبة بزيادة أعداد المنشئات المتوازية . والمبرد من الداخل توجد به الواح مضلعة رقيقة من سبائك الألومنيوم وذلك لتكبير سطح تبريد الهواء .

وعادة فان المبردات الصغيرة تكون كذلك ولكن ليس من الضرورى ذلك . ويمر التبريد فى إتجاه واحد لدائرة التبريد وفى المحركات الكبيرة تقل كمية مياه التبريد ويكون نظام التدفق على مسارين مع إتجاه واحد لفتحات الدخول وفتحات الخروج ومتقاربين ، ودائما ما يركب مبرد الهواء بجوار الشاحن الجبرى .

11.12 نظم شواحن الهواء Turbocharger systems :

توجد أربعة نظم رئيسية للشاحن الجبرى مستخدمة فى محركات الديزل البحرية شكل 11-6 .

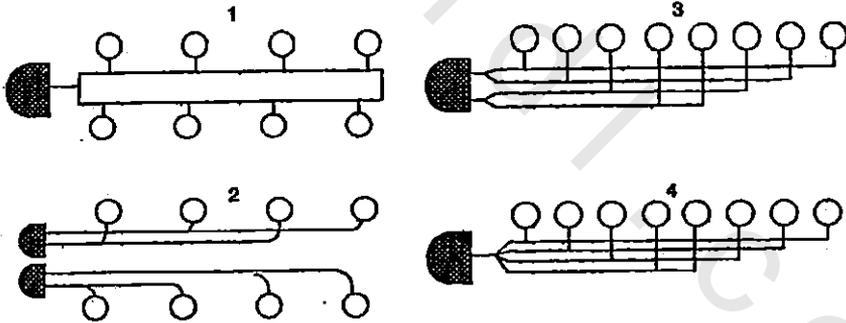


Figure 11-6 Exhaust turbocharger methods : 1 Constant pressure ; 2 Impulse ; 3 pulse converter ; 4 Multyi-pulse system

11-12a طريقة الضغط الثابت Constant pressure method : جميع وصلات العادم الخارجة من رؤوس الإسطوانات تتجمع فى إسطوانة عادم واحدة ذات قطر كبير ويعمل ذلك على تخفيض ضغط الدفع أو النبضات الصادرة من كل إسطوانة . وتصمم التربيننة بفتحة واحدة يمر منها الغاز لريش تربينة

العام عن طريق طوق حامل الفوانى الثابتة مع المحافظة على الضغط الكلى للغاز وكفاءته العالية .

ولكفاءة التشغيل يجب أن يكون الضغط المتولد بواسطة ضاغط الهواء دائماً على بنسب طفيفة عن ضغط غاز العام الخارج من الإسطوانة .

11.12b- طريقة الدفع – النبضات – للشاحن الجبرى .

Impulse turbocharging method

يندفع غاز العام على شكل نبضات الى المواسير المؤدية إلى تربيئة العام . ويكون تدفق الغاز فى تيار مستمر، ويكون دفع الغاز عن طريق مجموعة مواسير منفصلة وكل منها تغذى مجموعة فوانى ثابتة خاصة بها . وفى فترات التراكب وفتح صمام الحر وصمام العام فى نفس الوقت يؤثر على الدفع بالسالب ، وتكون كفاءة الكسح للإسطوانات مقبول .

11.12c طريقة تحويل الدفع – النبضة - Impulse converter method

من الطبيعى أن تكون طرق تحديد التأثير المتبادل فى نظام الدفع – النبضات – أن تتصل بمواسير غاز العام للإسطوانات ، وعلى الرغم من أن النبضات المحولة من مجموعة الإسطوانات يمكن توصيلها بخرج عمومى وذلك يعمل على منع إرتداد تدفق الغاز ، ويكون تأثيره سلس عند خروجه ويحسن هذا من سحب تربيئة الهواء وزيادة كفاءتها وكذلك منع الأحمال الميكانيكية على ريش الضاغط بقدر الإمكان .

11.12d- طريقة الدفع المتعدد multi- pulse method :

هذه الطريقة تساعد على تحسين طريقة تحويل – الدفع - النبضات وفى هذه الحالة تتعدد مواسير العام التى تغذى محول الدفع المشترك بعدد من الفوانى الثابتة من ماسورة الخلط ومع هذا الشكل من التصميم فإن الموجات التضاغية تتدفع بطريقة متوالية وليست إنعكاسية وذلك بسبب كبر مساحة فونية تربيئة العام.

ومما يستحق الإعتبار أنه يوجد طرق دفع متعددة تعمل على تحسين الأداء بقدر الإمكان بالمقارنة بطرق النبضة العادية للشواحن الجبرية .

11.13 بناء الشاحن الجبرى Turbocharger construction :

تم إنشاء الشواحن الجبرية بواسطة شركة A.B.B (Brown Boveri VTR)
والتي إستمرت لسنوات طويلة بدون تغيير شكل 7-11 وفيها يدخل هواء الشحن

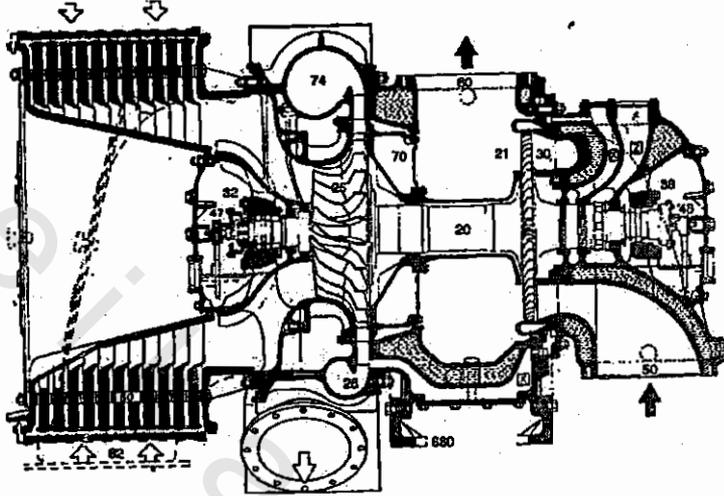


Figure 11-7 Cross-section of Brown Boveri type VTR 501 turbocharger
إلى ضاغط الهواء من خلال فلتر على شكل حرف S مبطن باللباد ويدخل غاز
العام عن طريق غلاف العادم المصنوع من الزهر الخاص رقم 50 به فتحة أو
فتحات لدخول الغاز حسب التصميم وهذا الغلاف يبرد بالماء ويتسع لوضع حلقة
مركب بها الفوانى الثابتة رقم 30 لتزويد عمود الإدارة رقم 20 بالطاقة اللازمة
من خلال الريش رقم 21 .

وتخرج غازات العادم إلى الهواء الجوى عن طريق الفتحة الموجودة بالغلاف رقم
60 ثم إلى المخنة ، ويدخل هواء الشحن إلى ضاغط الهواء الذى يكون على
شكل حرف S رقم 82 من خلال فلتر منقى للهواء وخافض للصوت رقم 80
ويندفع للنهاية الطرفية بواسطة الريش رقم 25 ويتدفق خلال الناشر رقم 28
ويتغذى المحرك بالهواء عن طريق مواسير ضغط على حرف s فى غلاف
الضاغط لخروج الهواء المضغوط رقم 74 ، وأماكن الهواء والغاز المجاورة
داخل الشاحن تكون معزولة بواسطة مواد عازلة للحرارة رقم 70 .

ولمنع غازات العادم من الإختلاط مع زيت التزييت للكراسى توجد قناة إتزان x
يمر بها الهواء النقى المضغوط إلى حيز الحشو اللبرائثى (labyrinth seal)
فى حيز تربينة العادم ، ويحمل عمود الإدارة عدد إثنين من الكراسى بطرفى
العمود ويمكن الوصول اليهم بسهولة رقم 32 ، 38 ومثبتين داخل غلاف التربينة

من الجهتين مع وجود زمبرك لإخماد الإهتزازات ، ومعظم الحوامل من نوع رولمان البلى ، ونظام دائرة تزييت الكراسى معظمها دوائر مغلقة مع طلبات زيت تأخذ حركتها من عمود الإدارة 47 ، 48 ويتم تغيير الزيت لكل من تربيئة العادم والحر كل ستة أشهر.

ويمكن تصفية زيت التزييت بواسطة طبة أسفل حيز الزيت ، وكذلك توجد عين زجاجية لمعرفة مستوى الزيت بالحيز والتأكد من عمل طلمبة الزيت بطريقة سليمة .

توجد طرق أخرى لتزييت الكراسى البسيطة والتي تحتاج إلى كمية كبيرة من زيت التزييت وتتغذى من زيت تزييت المحرك الرئيسى مباشرة . ولقد تم إستخدام تصميم تربيئات VTR بتوسع لملاعتها لكثير من محركات الديزل ، ويحتوى شكل 7-11 على الآتى .

مخفض الصوت وفلتر لتنقية الهواء ، غلاف لدخول الهواء 82 محتوى على طريق خروج الهواء المضغوط 74 ، غلاف العادم يحتوى على فتحة خروج غاز العادم 60 ، والقاعدة الخارجية لتثبيت الشاحن الجبرى 680 ، وفتحة دخول غاز العادم لتربيئة العادم 50 ، وریش ضاغط الهواء ومعظمها مصنوع من الألمونيوم المطروق ، ومن الممكن إستخدام سبائك الألومنيوم المطروق ، وأيضا سبائك التيتانيوم .

11.14 أداء الشاحن الجبرى وتطوره .

Turbocharger performance and developments

يبين شكل 8-11 منحنى حجم الهواء الداخلى للمحرك بالمتر المكعب/ثانية ونسبة الضغط عند درجة حرارة 10 درجة مئوية للهواء الداخلى وعلاقتها بعدد لفات الشاحن الجبرى فى الدقيقة ، و حمل المحرك وكل هذا يتطابق مع خصائص تشغيل محرك الديزل وكذلك خصائص تشغيل محركات الديزل ثنائية الأشواط . ومنحنى التشغيل تقريبا يوازى منحنى خط النباح وكل القيم لخرج المحرك وتطابق النقاط الموجودة على المنحنى ، وتطابق سرعة التربيئة التى يكون إدارتها أوتوماتيكيا مع عدم الإحتياج إلى تحكم فى سرعة التربيئة مثلا عند سرعة تربيئة العادم الطبيعية مع وجود ضغط هواء شحن أقل من المعدل ربما يكون هذا بسبب إتساح مروحة الضاغط أو فلتر الهواء ، ويحتوى ضاغط الهواء على الطرف الغليظ 74 لتغذية المحرك بالهواء .

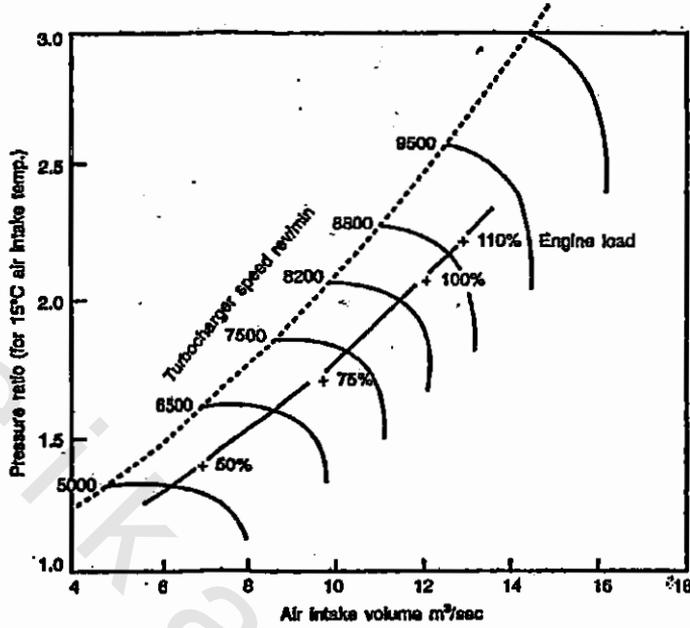


Figure 11-8 Typical Pressure - volume curve

وإنظافة ريش الضاغط من الأوساخ تدفع كمية قليلة من المياه باتجاه ريش الضاغط لنظافتها ويستمر الغسيل من 10 إلى 15 دقيقة مع ملاحظة فتح المصافي وذلك عند الحمل الكامل ، ربما تختلف خصائص التشغيل وسلوكيات الشاحن الجبرى باختلاف نظم الدفع الأربع السابقة . نظام الدفع - النبضة - ، نظام الضغط الثابت ، نظام تحويل الدفع ، ونظام الدفع المتعدد .

مثلا إذا ارتفع معدل الضغط المتوسط المؤثر يقال أنه نتيجة شحن الهواء الزائد ومع ذلك فإن كفاءة التربيننة تبقى على الأقل فى نفس المستوى . بينما تكون الزيادة المرضية فى الكفاءة العالية وضغط هواء الشحن ، ويجب أن تكون الصيانة المثالية مرتبطة بفترات سماح للأجزاء الرئيسية للمحرك بالإضافة إلى التشغيل الآمن .

وذلك لتجنب نجاح الضاغط مع إختلاف حالات التشغيل مع الوضع فى الاعتبار عند التصميم نسبة الإنضغاط العالية ، والكفاءة الحرارية ، والحجم النوعى لمعدل تدفق كل من الهواء وغاز العادم ، وأيضا إتخفاض مستوى الضوضاء .

11-15-الشاحن الجبرى وانبعثاته Turbocharger and emissions

الكفاءة العالية للشاحن الجبرى أسهمت فى تخفيض إنبعثات ثانى أكسيد الكربون وذلك بواسطة تحسين كفاءة المحرك .

ولنفس شاحن الهواء مع إتحاده بنظام شاحن متقدم يكون قادرًا على تأمين تغذية الهواء وبالتالي الوقود بنسب مثالية تحت جميع الأحوال .

كذلك تساهم فى التحكم فى كمية السناج المنبعثة ، ومن الممكن للشاحن الجبرى أن يلعب دورًا فى تخفيض إنبعثات أكسيد النتروجين ومن المعروف أن هذا ليس من السهولة لأن أكسيد النتروجين ينتج خلال الحريق وعند درجات حرارة عالية ، ومن الصعوبة تغيير الشاحن الجبرى ولكى يكتمل التحسن الكامل للتشغيل يوضع برنامج يشمل نظم كل من الشاحن الجبرى والمحرك سويًا .

ويكون الهدف هو تخفيض درجة حرارة غاز العادم لدوائر التشغيل للإسطوانات . والفكرة الأولى كانت فى تبريد الشاحن الجبرى حيث أنه يتم تبريد الهواء المشحون على الرغم من عملية ضغط الهواء فى المرحلة الثانية ، ومن الممكن الحصول على درجة حرارة منخفضة للهواء الداخلى للإسطوانة ، وعندما تكون درجة الحرارة منخفضة فى بداية دائرة التشغيل تزيد من كثافة الهواء مع عدم التغيير فى الضغط ، وفى نفس الوقت فإن الحمل الحرارى يحدد بإنخفاض متوسط الحرارة للدائرة .

وعند حصول المحرك على درجة حرارة منخفضة عند ثبوت القدرة يعمل على إنخفاض أكسيد النتروجين خلال الحريق وتصل نسبة الإنخفاض إلى حوالى 10% عند الحمل الكامل بينما يتحسن إستهلاك الوقود بنسبة 1% على الأقل ولنفس الإسطوانة فإن مستوى الضغط والحرارة المفقودة تنخفض نتيجة الإرتفاع الطفيف لنسب الهواء والوقود .

11.16- تصميم الشواحن الجبرية Turbocharger designers :

لقد تم تصميم الشواحن الجبرية ABB الرئيسية السويسرية الصنع من خلال شركة (BBC) Brown Bover مع الإرتباط القوى لألفريد بوش بالشواحن الجبرية من عام 1905 فإن كل يوم يمر عليه يمهّد الطريق لتحسين الأداء مثلاً قدرة المحركات رباعية الأشواط التى تحتوى على 10 إسطوانات لشركة M.A.N إرتفع من 1250 kw لمحرك ليس به شاحن جبرى إلى 1840 kw بواسطة شاحن جبرى من شركة BBC . ولقد تمّ تدشين سلسلة ترابينات

VTR..0 في عام 1944 بواسطة شركة BBC علامه لبداية تاريخ عصر من عصور التقدم .

رُفد تم تصنيع تربينات رئيسية بقدرات من 37 kw إلى 14700 kw . وفي بداية عام 1952 تم إنتاج الشاحن الجبرى 630 VTR.. وكانت الزيادة فى القدرة حوالى 5520 kw لمحرك ثنائى الأشواط .

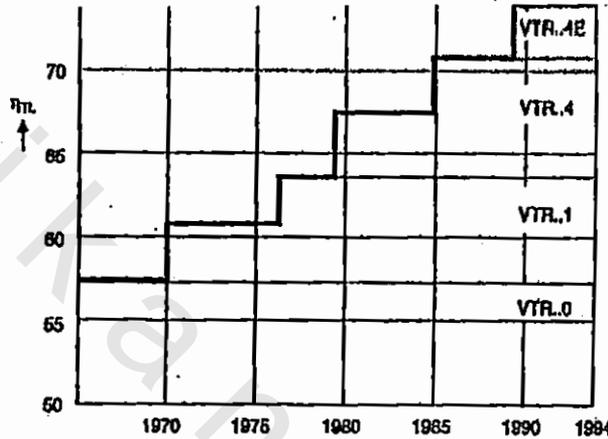


Figure 11-9 the total efficiency of successive ABB VTR turbocharger generations has increase signification

واقدم الإسراع فى إنتاج الشواحن الجبرية VTR للمحركات الرباعية والثنائية الأشواط فى بداية عام 1950 ومع الزيادة فى الكفاءة ونسب معدل الضغط شكل 11-9 وصلت الكفاءة إلى 74.7% من الشاحن الجبرى طراز VTR.. 714E فى عام 1959 .

وكانت نسبة الضغط للشاحن الجبرى طراز VTR..304 5:1 . وبرنامج نظم تربينات ABB الحالى تحتوى على الآتى .

- 1- سلسلة تربينات VTR : التصميمات التى تمت تشغيلها مع المحركات من 700 kw إلى 18500 kw لكل تربيئة .
- 2- سلسلة تربينات VTC : المحركات التى تستخدم تربينات VTC تكون قدرتها من 1000kw إلى 3200 kw لكل تربيئة .
- 3- سلسلة تربينات RR : وتستخدم فى المحركات السريعة والمتوسطة السرعة بمعدل من 500 kw إلى 1800 kw لكل تربيئة .

4 سلسلة تربيينات TPS : وهى جيل جديد من التربيينات الصغيرة الحجم والموضحة فيما بعد .

11.17- سلسلة تربيينات TPL :

وهى جيل جديد من التربيينات الكبيرة وأيضا موضحة فيما بعد لتربيينات القدرة NTC : للإستغلال المفرط والزائد عن الحاجة لطاقة غاز العادم لرفع كفاءة إستهلاك الوقود أنظر مكونات التربيينة .

وفى سلسلة تربيينات VTR..4 تم تصميمها بمرحلة واحدة وكل من تربيينة العادم والهواء مركبتان على عمود إدارة واحد .

وتختلف مجموعة ريش التربيينات باختلاف طروق الفوانى وإرتفاعات الريش وعددها .

أيضا إختلاف عرض ريش ضاغط الهواء ومطابقة التغير فى الناشر ليكفل الإتصال الأمثل مع المحركات وملاءمته مع خصائص الشاحن الجبرى .

11.17a- وصف الشاحن الجبرى :

يتكون الشاحن الجبرى من الأجزاء الرئيسية مثل غلاف تربيينة العادم ، وغلاف الوسط ، وغلاف ضاغط الهواء مجمعين مع بعض بمسامير رباط .

ومن الممكن تغيير وضع الإتصال بين الأغلفة بزاوية دوران من 15° إلى 30° لتتناسب مع مواسير عادم المحرك وتندفع غازات العادم من المحرك الرئيسى عن طريق مواسير العادم وتكون إما ماسورة واحدة أو عدة مواسير لا تزيد عن الأربعة وبالتالي توجد فى الغلاف إما فتحة واحدة لدخول العادم أو أزيد حتى 4 فتحات رقم 50 ويتمدد غاز العادم عند طروق الفوانى 30 ليمد مجموعة الريش وعمود الإدارة 20 بالقوة الأزمة للدوران ويمر الغاز إلى الخارج خلال غلاف مبرد بالمياه 60 ومن خلال ماسورة العادم إلى الجو Atmosphere .

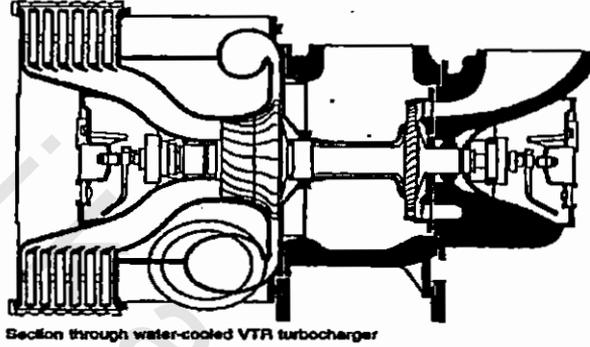
ويمر الهواء المطلوب للمحرك خلال فتحة طرفية 82 من خلال فلتر وممرات مبطنه باللباد 80 لتخفيض الضوضاء إلى ريش التوجيه ثم إلى ريش المروحة 25 ثم يتدفق من خلال الناشر 28 وفى النهاية يترك الهواء تربيينة الهواء عن طريق فتحة الخروج 74 .

والجدار الفاصل 70 معزول بمادة تمنع إنتقال الحرارة لهواء الضاغط ويعمل على عزل غاز العادم بالإختلاط مع هواء الضاغط بواسطة الحشو seal labyrinth ويزد الشاحن الجبرى بطريقتين لتزييت المحامل إما ذاتية أو منفصلة من دائرة خارجية .

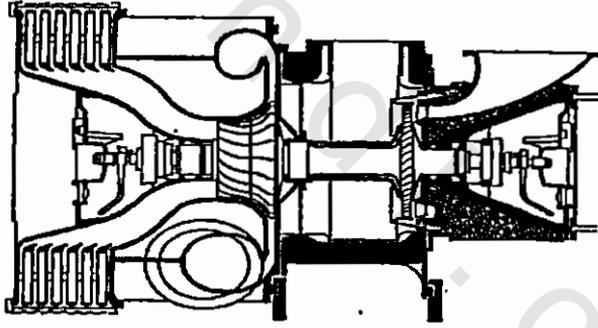
وفى حالة التزييت الذاتى يجهز حيز الزيت بطبة لملئ الزيت وأخرى للتصفية .

وفى الحالة الثانية وهو التزيت المنفصل تجهز بماسورة تغذية للزيت وأخرى لتصريف الزيت الى الدائرة .

وتوجد ممرات Y ، Z ، فى الممر y يدخل الهواء المضغوط من ضاغط الهواء إلى حيز الحشو labyrinth فى تربيئة العادم لمنع إختلاط غاز العادم بزيت التزيت ، أما الممر Z فهى غرفة إتزان للضغط وتعمل على عدم هروب زيت التزيت .



Section through water-cooled VTR turbocharger



Section through uncooled VTR turbocharger

Figure 11-10 Water-cooled and uncooled ABB VTR turbocharges

ويوضع فى مدخل مياه التبريد شريحة من المعدن Bafflo لمنع إستضمام مياه التبريد ببند التربيئة مع وضع قطع من عنصر الزنك فى أبواب الكشوف لمنع تآكل جسم تربيئة العادم .

وبين شكل 11-10 رسم توضيحي لشاحن جبرى مبرد وآخر غير مبرد بالمياه وليس به مداخل للمياه فى أى نقطة ، ولمواجهة المصممين لمتطلبات المحركات ثنائية الأشواط بطيئة السرعة تم إدخال نظام الشاحن الجبرى ABB بمسلسلة من تربيئات VTR..4D بنسب إنضغاط تصل إلى 4 .

VTR454 D, VTR564D , وتوجد 3 أحجام من الشواحن الجبرية D هي VTR714 تعطي قدرات للمحرك من 5000kw إلى 70000kw ومستويات الكفاءة لنفس الأعمار المعاصرة للمحركات بطيئة السرعة من الممكن أن تقابل بثبات الشواحن الجبرية 4VTR.4E , ويبين شكل 11-11 الموجود على يمين الصفحة منحني لمتطلبات الكفاءة لمحرك كبير ثنائي الأشواط وعلاقتها بنسب ضغط الضاغط عند الحمل الكامل ، أما الصورة الموجودة على يسار الصفحة تبين العلاقة بين الكفاءة ونسب ضغط الضاغط عند الحمل الكامل عند تصنيع ريش الضاغط من معدن الألومنيوم ، والتيتانيوم.

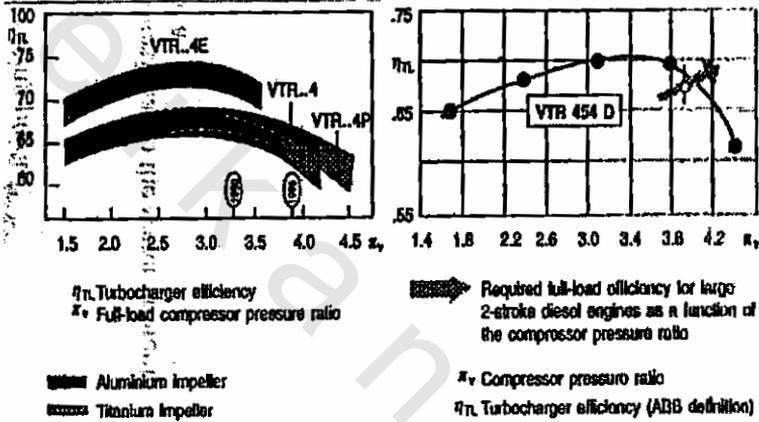


Figure 11-11 a- Turbocharger efficiency as a function of the compressor ratio for today's ABB turbochargers – valid for applications on large two-stroke diesel engine – b – turbocharger efficiency as a function of the compressor pressure ratio for the VTR 454 D along a typical two stroke diesel engine operating line

pressure
ratio

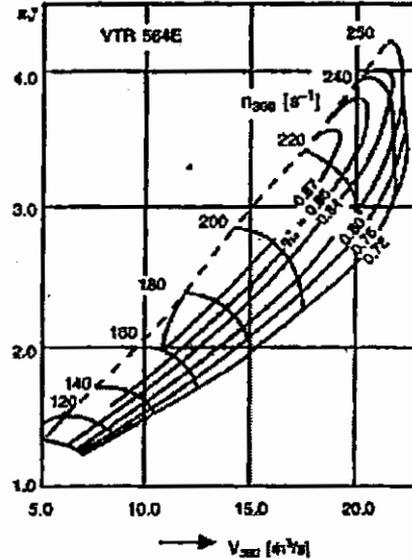
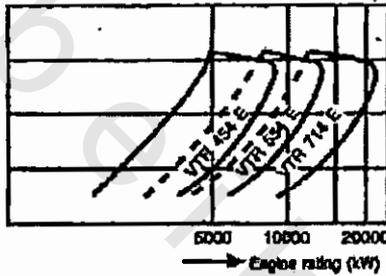


Figure 11-12, Performance maps for Turbomeca HS5800 turbochargers

في شكل 11 - 12 تبين الصورة الموجودة على يمين الصفحة منحنى يبين العلاقة بين نسبة ضغط الضاغط وكمية تدفق الهواء /ثانية . أما الصورة الموجودة على يسار الصفحة فإنها تبين العلاقة بين نسبة الضغط لضاغط الهواء ومعدل قدرة المحرك .

ومن أهمية الكفاءة العالية لسلسلة الشواحن الجبرية VTR..4E السماح لطاقة غاز العادم الزائدة عن حاجة الشاحن التربينى للمساعدة في إدارة المحرك الرئيسي والمحرك المساعد عن طريق عمود المرقق بواسطة تعشيق هيدروليكية hydraulic coupling وترس مخروطي Bevel gear (أنظر أسفل النظم المختلفة للشواحن الجبرية) ولكن هذه السلسلة لا تكون قادرة على الوفاء بالمتطلبات الكلية للمحركات بطيئة السرعة لإحتياج المحرك إلى ضغط أعلى من 20 بار، والتي يتطلب نسبة إنضغاط 3.9 عند الحمل الكامل مع وصول كفاءة الشاحن إلى 67% أو أزيد ، والشاحن الجبري VTR..4 لا يصل للكفاءة المطلوبة .

وريش مروحة ضاغط الهواء المصنوعة من سبائك الألومنيوم تصل للكمال لنسبة الإنضغاط ، والشاحن الجبري VTR..p يعمل على تحسين حالة المحركات رباعية الأشواط أنظر المقطع السفلى بالرغم من أنه يعمل على تحسين الكفاءة

عند نسبة الإنضغاط العالية بالنسبة للشاحن الجبرى VTR..4. ونظم شركة ABB للشواحن الجبرية VTR..p تحتاج لتوجيه مصمى المحركات للبحث عن قدرات للمحركات متوسطة السرعة .

مثل المحركات التى يصل فيها Mep الضغط المتوسط المؤثر من 24 إلى 25 بار ، ويتطلب ضاغط هواء يصل نسبة إنضغاطه من 3.8 إلى 4 والتى تزيد من الكفاءة الإجمالية للشاحن الجبرى إلى 60% ، والضغط المتوسط المؤثر الذى يصل إلى 28 بار يكون مطلوب لبعض المحركات رباعية الأشواط والتى من المقترض أن تكون نسبة الإنضغاط من 4.2 إلى 4.5 مع تحسن الكفاءة الإجمالية للشاحن الجبرى . بينما يحافظ على الكفاءة الكلية للصيانة .
وسلسلة الشواحن الجبرية VTR..4p تعطى نسب تصل إلى 1:5 من مرحلة واحدة بسيطة وتكون مفضلة عن نظام المرحتين المعقدة .

11.18- سلسلة الشواحن الجبرية طراز TPS :

ومع التقدم فى تكنولوجيا محركات الديزل الصغيرة متوسطة السرعة والكبيرة ذات السرعات العالية .

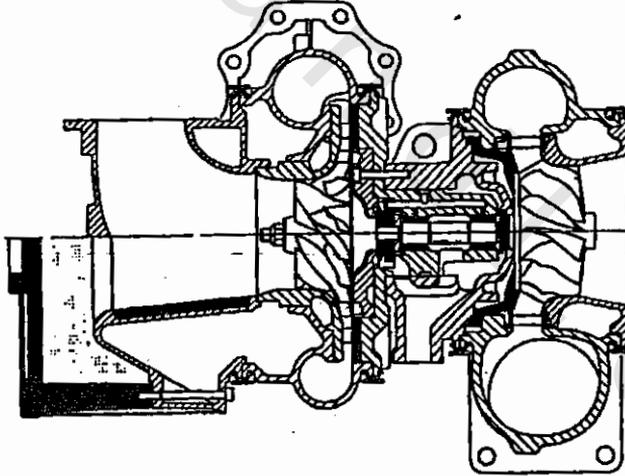


Figure 11-13 ABB Turbo systems TPS turbocharger for small medium speed and large high speed engines

أدى لإنتاج شواحن جبرية مدمجة تعمل على زيادة نسبة إنضغاطها ومستويات كفاءة إجمالية عالية ومن هنا كان التوجه إلى نظم الشواحن الجبرية ABB فى منتصف عام 1990 وذلك بإنتاج سلسلة شواحن جبرية من طراز TPS مصممة

لخدمة المحركات رباعية الأشواط مع قدرة من 500 kw إلى 3200 kw لكل ترتيبية شكل 11-13، وتنتج بالمدى الكامل لمتطلبات نسب الإنضغاط لمثل هذه المحركات .

والشواحن الجبرية من طراز TPS.D/E هي المقبولة مع الإختلاف الكامل لمرحلتى الضاغط ، ولقد صممت المرحلة الواحدة لتعطي نسبة إنضغاط تصل أعلى من 4.2 للتريبية طراز TPS.D ونسبة إنضغاط تصل إلى 4.7 للتريبية طراز TPS.E .

ومع ذلك لوحظ تحسن فى الكفاءة الميكانيكية لتصميمات الوحدات المدمجة للتريبينات ذات المرحلة الواحدة مع قطر الريش الصغير ، ونسبة الإنضغاط التى تصل إلى 4.5 ولقد وصلت إلى هذا المجال بواسطة الإستخدام الأمثل لسبائك الألومنيوم لمعدن الضاغط والريش وبذلك تم الحصول على كفاءة أعلى من 84% ومع الخبرة لطراز الشواحن الجبرية من طراز RR وهو فرع من التصميمات من سلسلة الشواحن الجبرية TPS .

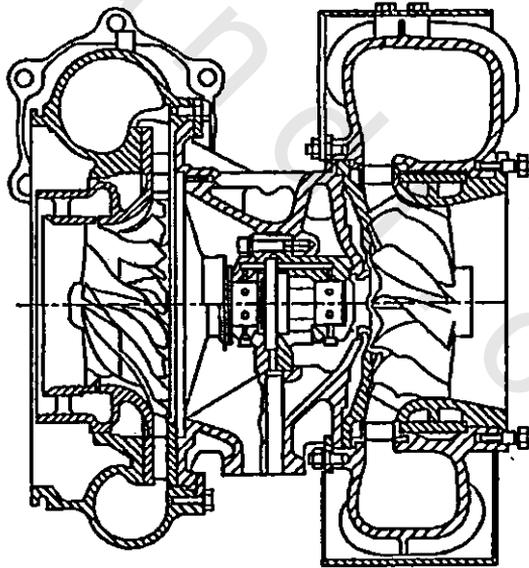


Figure 11-14 cross- section of ABB TPS 57-F33 turbocharger

معيار التقدم فى الشواحن الجبرية يشمل مقدرتها على التشغيل عند درجة حرارة غاز عادم تصل إلى 750°C ، وطول العمر عند إستخدام الوقود الثقيل وتحت

حالات أحمال عالية . مع الوضع فى الاعتبار تحمل الأحمال الديناميكية للهواء والمعطاة بواسطة الشاحن الجبرى طراز RR.1 الذى يعتمد على الثبات الجيد والكفاءة العالية. كذلك إنخفاض فقد الميكانيكى أكثر من % 20 والتحسين فى الشاحن الجبرى طراز TPS.f 33 والمنتج فى عام 2000 كانت البداية فى زيادة نسبة الإنضغاط إلى 4.7 مع ريش ضاغط مصنوعة من الألومنيوم مع حجم هواء متدفق كبير ، والبقاء على الكفاءة العالية ، وطول العمر وسهولة الصيانة شكل 11-14 .

11.19- سلسلة شواحن الهواء طراز TPL

وهى شواحن جبرية من شركة ABB والجيل الجديد بالكامل من سلسلة الشواحن الجبرية TPL والتي تم إنتاجها فى عام 1996 لتفى بمطالبات محركات الديزل البطيئة والمتوسطة السرعة ذات القدرات العالية ولقد وضعت أهدافاً للتحسين كالاتى:

* الزيادة العالية فى نسبة ضغط الإنضغاط والتي تسبب الزيادة فى قدرة المحرك .
* المستويات العالية للكفاءة تعمل على تخفيض الإستهلاك النوعى للوقود وتخفيض درجة حرارة غاز العادم .

* السعة الكبيرة للتدفق ، والتصميم المدمج وخفة الوزن .
* سهولة الصيانة حتى ولو كانت المحركات تعمل عند حالات صعبة مثل إستخدام المحركات لأنواع رديئة من الوقود الثقيل .

ومن سمات تصميم هذه الشواحن عدم تبريدها بالماء ، وتخفيض العدد الإجمالى للمكونات بالمقارنة بسلسلة الشواحن الجبرية VTR مع الزيادة فى المسافة الزمنية للصيانة (أنظر شكل 11.15 a,b,c) وتعديل شكل الشاحن الجبرى TPL ساعد على موازنة متطلبات المحركات ثنائية ورباعية الأشواط

أما المحركات ثنائية الأشواط وصلت قدرتها من 5000kw إلى 25000 kw لكل تربينة .

وتم إنتاج الشاحن الجبرى من طراز TPL.B فى عام 1999 والشاحن الجبرى من طراز TPL. A كانت من متطلبات المحركات رباعية الأشواط والتي تنتج بقدرات من 1250 kw إلى 18000 kw .

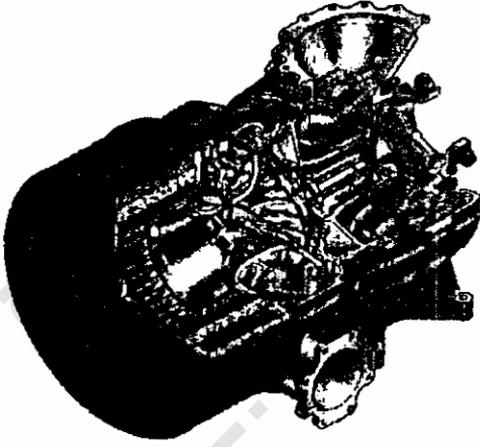


Figure 11.15 a cutaway of ABB
TPL 65 Turbocharger

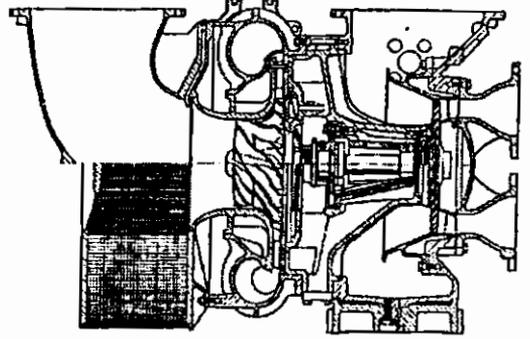
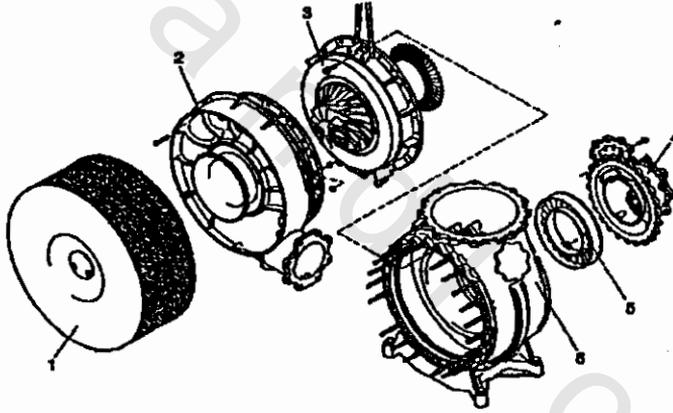


Figure 11.15 b cross section of
APP TPL 65 Turbocharger



Figur 11.15 c Moduler design concept of App TPL turbocharger : 1. Filter silencer ;
2. Air volute 3. Rotor block ; 4. Gas inlet casing ; 5.Nozzle ring ; 6. Gas out let
casing

ومن سمات الشاحن الجبرى TPL أنه لا يبرد بالماء ومصمم على هيئة خرطوشة مقلنة وتعيش حوامل عمود الإدارة الخاصة بها لفترات طويلة. سلسلة الشواحن الجبرية لشركة MAN B&w طراز TCA وقدرات المحرك لكل تربينة بالكيلواط والجدول 11.2 .

Table 11-2

	Two-stroke engines Ie = 8.5*	Four-stroke engines Ie = 6.5*
TCA33		2800-4300 kW
TCA44		4100-6200 kW
TCA55	4400-8200 kW	5800-10 800 kW
TCA66	6200-11 600 kW	8200-15 200 kW
TCA77	8800-16 400 kW	11 500-21 500 kW
TCA88	12 400-23 300 kW	16 300-30 300 kW
TCA99	18 700-31 300 kW	

Specific air consumption in kg/kwh

11-20- سلسلة الشواحن الجبرية TCR .

سلاسل الشواحن الجبرية المتكاملة للبرنامج الجديد تعمل بتدفق الهواء القطري وتربينات TCR معروضة بستة أحجام من طراز 12 TCR. إلى TCR..22 وذلك لتغطية قدرات من 390 kw إلى 5000 kw ونسبة إنضغاط تصل إلى 5.2 ومن سمات التصميمات للتربينات المتكاملة CFD الريش المتتالية على العمود ، وحلقة الفوانى ، وأغلفة دخول غاز العادم وخروجه ومن الممكن تغيير حلقة الفوانى ويعتبر هذا إختياري . ومن مميزات أيضا زيادة كفاءتها بالتصميم المثالي لريش الضاغط وحيز الإنتشار Diffuser وجسم الضاغط الحزوني وتدفق الغاز وتدويره وتمددة في حدود خط النباح والتخطيط العالى للأداء المثالى لمعامل عمود الإدارة مع الإقلال من الفقد الميكانيكى .

11.21- الشاحن الجبرى لشركة Mitsubishi :

الاجيال المتتابعه للشواحن الجبرية من طراز MET تم إنتاجها فى عام 1965 بواسطة شركة Mitsubishi ومن سماتها عدم وجود تبريد لأغلفه داخل وخارج غاز العادم شكل 11-16 وكذلك الطلب على نسبة الإنضغاط والكفاءة العالية كانت العنوان للمهندسين اليابانيين لتحسين سلسلة الشواحن الجبرية MET- SD مع تقييم برنامج الشواحن الجبرية S – MET C .

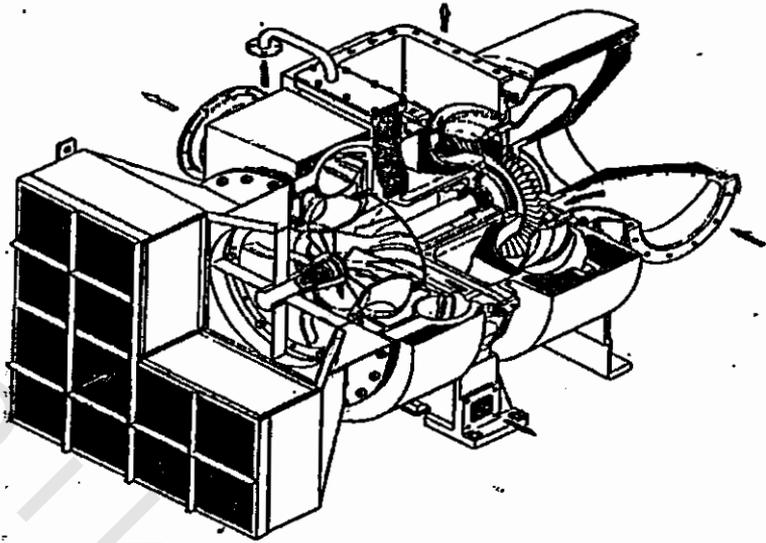


Figure 11-16 Mitsubishi MET-SD type turbocharger

و السمات الرئيسية للسلاطات المبكرة تم الإبقاء عليها ولكن الطرازات الحديثة إستغلت الكفاءة الزائدة لريش المروحة بدمج عدد 11 ريشة وعدد 11 ريشة مشقوقة بترتيب متعاقب .

ويتعقب كفاءة الشاحن الجبرى MET-SC ، MET-SD عند السرعة العالية نجد أنه عند زيادة السرعة من 4 إلى 5 % تزيد نسبة الإنضغاط إلى 3.5 مع عدم تغيير فى كل من مواسير العادم والهواء وزيت التزييت .

ويرامج الشواحن الجبرية الخمسة من طراز MET-SC تفى بمتطلبات قدرات المحركات من 800 kw إلى 18000 kw عند نسبة إنضغاط تصل إلى 3.5 ويوصل معدل تدفق الهواء لأقل طراز MET33SD وأكبر طراز MET83SC عند نسبة إنضغاط 3.5 وسرعة تدفق للهواء تصل من 3.5 إلى $37.5m^3/sec$ ويمن أهداف شركة Mitsubishi الوصول بنسبة إنضغاط إلى 4 وأبعد من ذلك . ومع سلاسل الشواحن الجبرية SEI/ SEII والتي تنقسم خصائصها الرئيسية مع الأجيال السابقة نجد الآتى :

- a- مع عدم التبريد الكامل (لا يوجد حامض الكبريتيك وبالتالي لا يوجد تآكل)
- b- تركيب المحامل بالداخل (ومزاياها سهولة الحل) .
- c- محامل منزقة (تساعد على طول العمر) .

بالإضافة إلى أن الطرازات السابقة كانت مصممة بجدارين جهتي أغلفة داخل وخارج الغاز وكان الإعتماد على جهة دخول الغاز لغللاف تربينة العادم في الحل وعمل الكشف والصيانة ، ودمج تنك الزيت العلوى بالدائرة له تأثير في تزييت عمود الإدارة عند وقوف المحرك في الحالات الطارئة .

وأيضًا يستغل قوس الريش في تحسين أداء الشاحن الجبرى وذلك بالزيادة العالية في نسبة الإنضغاط .

وبرنامج الطرازات السبعة للشواحن الجبرية SE/SEII - MET- يشمل أيضًا 33SE حتى 90SE والتي يتدفق فيها الهواء بسرعة من 3.1 إلى $53m^3 /sec$ عند نسبة إنضغاط 3.6 وتكون مرضية عند التشغيل بقدرات من 1300 kw إلى 24000 kw لكل شاحن جبرى ويبين شكل 11-17 منحني بياني لمجموعة من الشواحن الجبرية SEII and MET-SD بالتوالي وفي هذا المنحنى يبين العلاقة بين معدل تدفق الهواء بالمتر المكعب عند درجة حرارة 20 درجة مئوية ونسبة ضغط إنضغاط عند الحمل الكامل . ولقد تحسنت الكفاءة الكلية للشاحن الجبرى بواسطة السمات الجانبية 3D لريش الضاغط مثل أداء الديناميات الهوائية ، وإطار التربينة الحامل للريش لا يتطلب له وجود سلك اخمد .

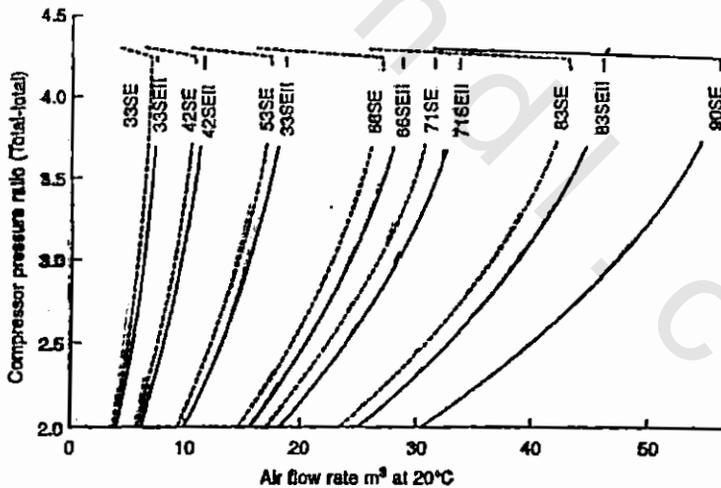


Figure 11-17 Air flow ranges of Mitsubishi MET-SD and SEII series turbocharger

11-22-ديناميات الشواحن الجبرية (Hispano – Suiza) :

فى عام 1990 ويتعاون SNECMA أعضاء مجموعة (Hispano- suiza) الفريق الفرنسى مع الفريق الأمريكى Allied الشهير بالفضاء الجوى تم إنشاء جيل جديد من سلسلة الشواحن الجبرية HS للمحركات السريعة ومتوسطة السرعة بقدرات تتراوح بين 1000 kw إلى 9000 kw . وفى عام 2002 تم نقل هذه التكنولوجيا إلى فريق آخر (لديناميات الشواحن الجبرية) وسلسلة الأجيال الجديدة للشواحن الجبرية أربعة متتالية هى HS4800 ، HS 5800 ، HS 5800 p ، HS 6800 . والتالى مقياس الأداء ومعلن عنها لطرزات HS 4800 ، HS 5800 ضاغط متساوى الإنتروبية كفاءته أعلى من 86% فى نطاق إستخدامه ؛ والكفاءة الكلية من 73%-75% للمحرك . مع إستمرار نسبة الإنضغاط 4.5 من ضاغط مصنوع من الألومنيوم ، ونسبة إنضغاط 5 من ضاغط مصنوع من التيتانيوم . ويبين المنحنى الأعلى من الشكل 11-18 . العلاقة بين تدفق الهواء بالكيلوجرام /ثانية مع نسبة الضغط أما فى الشكل الموجود بأسفل يبين المنحنى العلاقة بين نسبة التمدد وكفاءة التربيننة % .

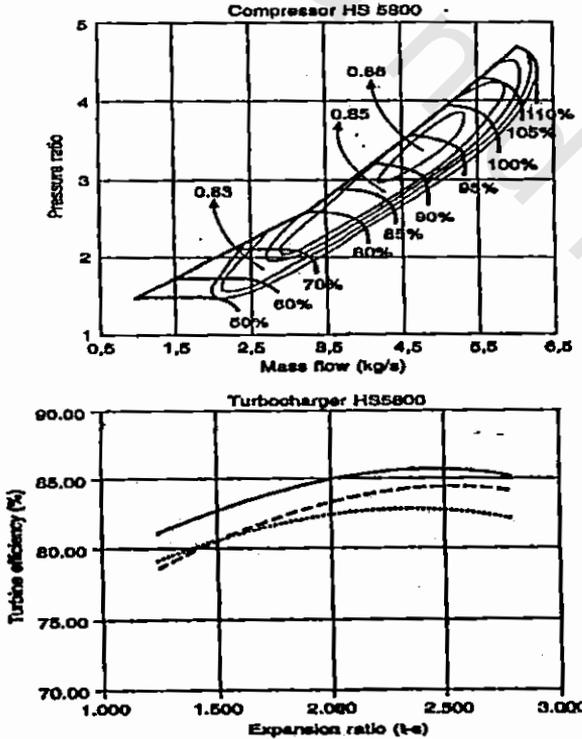


Figure 11-18
performance maps
for turbomeca HS5800
turbocharger

ومن نتائج الممج خفة الوزن وتحسن الدفع داخلى ، وسهولة حل المحامل الرئيسية ، وإستخدام الشق الرئيسى (القطرى + المحورى) للناشر عند مخرج ريش الضاغط. ومن سمات تطور الضاغط السبيكة المطروقة ذات المتانة العالية مع الكنص الخلفى للريش (قطعة واحدة) ، خفة السبيكة المصبوبة ، وأكثر من 20 توليفة من القطع ، وزوايا التخلف للناشر . والتدوير الداخلى للناشر (CIR) والإختيار الأمثل للكفاءة عند الأحمال الجزئية وتحسين حدود النباح لأكثر من 20% .

ومن سمات التربيننة ذات المرحلة الواحدة أنها تستخدم سبائك الكروم والنيكل لمعدن طوق الفونية وهذه السبيكة تتحمل درجات الحرارة العالية ، وحساسية لأى إرتفاع فى درجة الحرارة (ويثبت جهاز لإمتصاص الذبذبة لنظم تربيينات الدفع) ؛ وتوجد 28 توليفة من القطع ، ومساحة طوق الفوانى والكفاءة العالية. والتوزيع المثالى لغاز العادم المنتشر وذلك لإتمام الكفاءة العالية للمرحلة . والتطابق الكلى مع إستخدام الوقود الثقيل فى التشغيل وكل هذه من مهارات التصميم وبصراحة فإن التفكير فى التصميم والصيانة وإنبعاثات العادم الضارة كانوا هم أساس الإبتعاد الكلى عن إستخدام مياه التبريد مع التزييت الأمثل فى تدفق الحرارة الداخلية بطريقة بسيطة .

11.23- نظم الشاحن الجبرى المركب Turbo compound systems

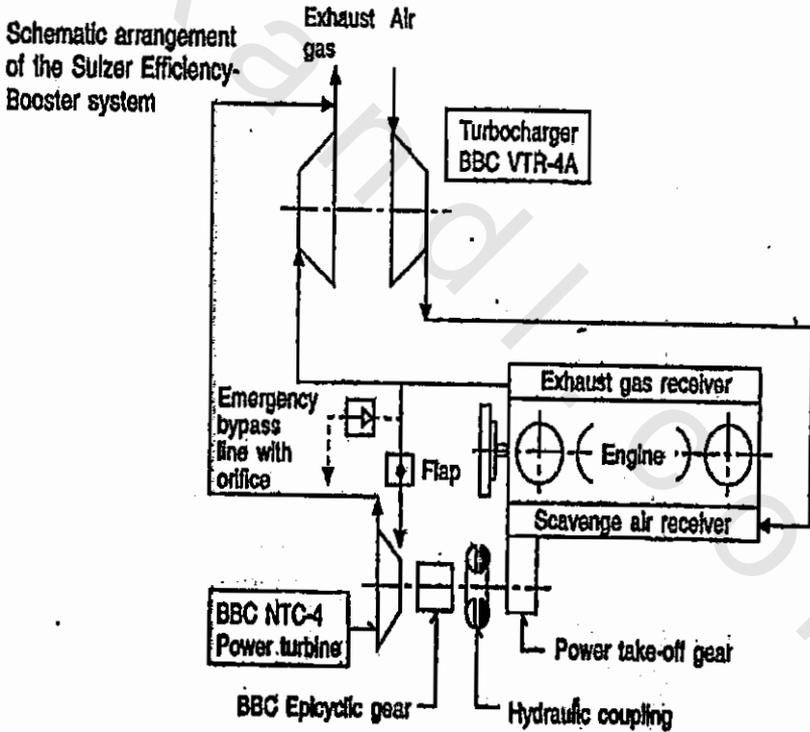
الكفاءة العالية لبعض الشواحن الجبرية الكبيرة الجيدة كانت مميزة والسبب فى زيادة متطلبات المحركات من الهواء المشحون والسماح لبعض غازات العادم بتحويلها لإدارة تربينة القدرة ، وتم تركيبها ودخولها فى الخدمة بالأحرى مع محركات MANB&W ، SULZER بطينة السرعة وهذا يستحق الإهتمام فى زمن يكون فيه سعر الوقود عالى .

والتربينة الغازية (تربينة القدرة) تعطى عزمها إلى المحرك إما عن طريق مجموعة من التروس تصل إلى عمود المرفق بواسطة تشبيقة هيدروليكية أو مولد إدارة عن طريق قوة خارجية أو قوة داخلية (PTO / PTI) .

ونظام شركة SULZER لمحركات القدرة أساسها نظم الشواحن الجبرية لشركة ABB ، ولقد أدت إلى توفير أكثر من 5.5 g لكل واحد كيلواط ، وزيادة الكفاءة القصوى للمحرك إلى 54% . وفى الواقع لا يوجد تأثير على طاقة غاز العادم المتولدة من المحرك . شكل 11-19.

وفى أثناء تحميل المحرك فإن النتائج فى توفير الوقود تستحق الإهتمام وذلك فى كبح الزيادة فى الإستهلاك النوعى للوقود بالمقارنة باستهلاك المحرك سابقاً .
 وطاقة غاز العادم تتناسب مع درجة حرارته الداخلة إلى ماسورة العادم ثم إلى الشاحن الجبرى طراز نظام تربيينة القوى والتي تعمل بالتوازي مع الشاحن الجبرى.

وتربيينة القوى مدمجة مع تروس الإدارة وتكون حركتها مزدوجة الميكانيكية فى محركات SULZER طراز RTA بطينة السرعة وذلك لزيادة قدرة المحرك .
 وتوصف الكفاءة الداعمة بالخط المستقيم القائم بنظام on/of والذي يرفع الحمل أكثر من 40 إلى 50% للمحرك بدون أى عناء والقوة المضافة يتغذى بها عمود المرفق مباشرة ، وكذلك السماح للمحرك بالتشغيل عند الأحمال المنخفضة التى تتناسب مع القدرة الكاملة لعمود الرفاص مع إنخفاض إستهلاك الوقود .



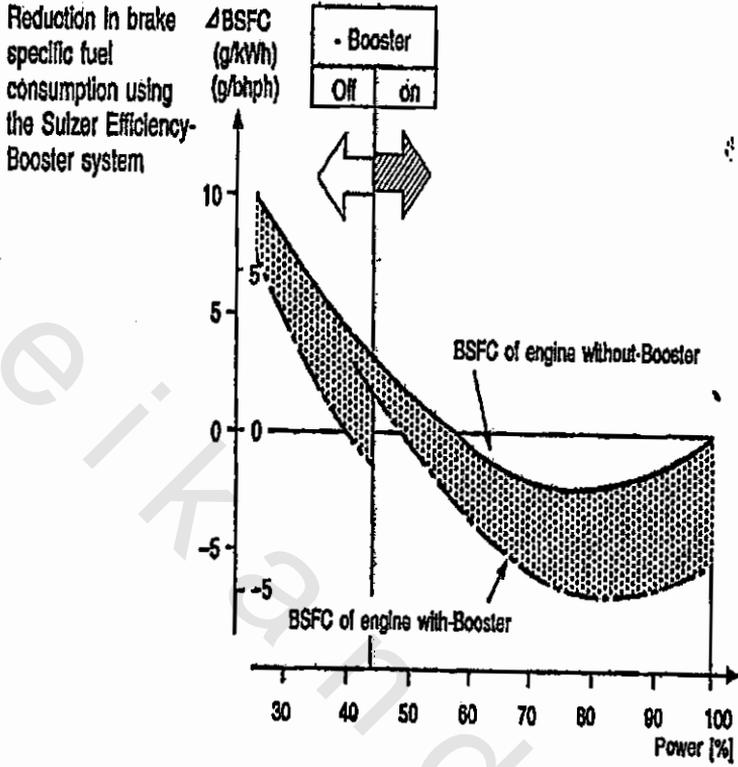
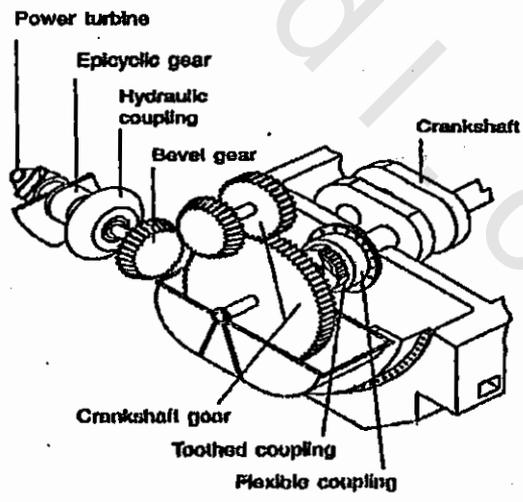
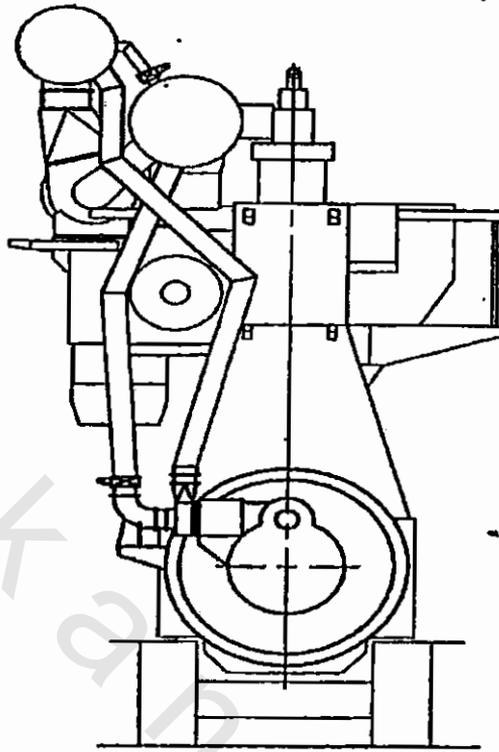


Figure 11-19 Sulzer Efficiency-Booster system layout and performance

وبالمثل فإن الإستفادة لشركة MAN B & W من تربيئة القوى بنظام القدرة الداخلة المعدة والتي تم تثبيتها فى المحركات بطيئة السرعة طراز MC بقطر مكبس من 600_{mm} إلى 900_{mm} شكل 11-20.

وتربيئة القدرة المستخدمة مع الشاحن الجبرى ABB لشركة MAN B & W خاصة عند ربطها مع المحرك فى الخدمة عند حمل أعلى من 50% عن القدرة المثالية .

تتصل تربيئة القدرة بعمود المرفق عن طريق جهاز تعشيق هيدروليكي hydraulic clutch ووصلة مرنة flexible coupling .



Afigure 11-20 Arrangement of MAN B & W TCS /PTI system on main engine and the power Turbine drive to the crankshaft