

(12) **Österreichische Patentanmeldung**

(21) Anmeldenummer: A 50603/2012  
(22) Anmeldetag: 20.12.2012  
(43) Veröffentlicht am: 15.01.2014

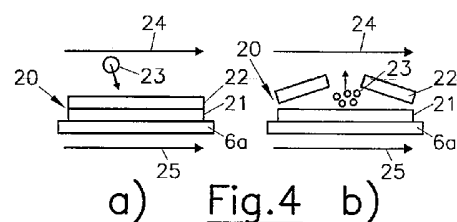
(51) Int. Cl. : **F02M 25/07** (2006.01)  
**F02D 21/08** (2006.01)  
**F02B 47/08** (2006.01)

(56) Entgegenhaltungen:  
AT 504741 B1 US 6826903 B2  
US 6848434 B2 US 6085732 A

(73) Patentanmelder:  
AVL LIST GMBH  
8020 GRAZ (AT)  
(72) Erfinder:  
Glensvig Michael Dipl.Ing.  
Graz (AT)

(54) **Verfahren zur Regeneration eines EGR-Kühlers**

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Regeneration eines EGR-Kühlers (6) in einem zwischen einem Auslass- (3) und einem Einlasssystem (2) einer Brennkraftmaschine (1) angeordneten EGR-Strang (5), wobei im EGR-Strang (5) zumindest ein mindestens einen ersten Abgasströmungsweg (31) aufweisender EGR-Kühler (6) angeordnet ist, welcher über zumindest eine mindestens einen zweiten Abgasströmungsweg (32) aufweisende Umgehungsleitung (8) umgehbar ist, wobei während zumindest einer Kaltstart- und Warmlaufphase der Brennkraftmaschine (1) ein Regenerationsbetriebes des EGR-Kühlers (6) durchgeführt wird. Um eine effektive Regeneration des EGR-Kühlers (6) durchführen zu können ist vorgesehen, dass kondensierendes Wasser des Abgasvolumens aus dem Verbrennungsprozess im EGR-Kühler (6) von einer abgasseitigen Sekundärschicht (22) der Wandverschmutzung (20) des EGR-Kühlers (6) während einer Sättigungsphase absorbiert wird, und dass das absorbierten Wassers während einer Reinigungsphase im Warmlauf der Brennkraftmaschine (1) erhitzen wird und expandiert, so dass die Sekundärschicht (22) entfernt wird.



a) Fig.4 b)

## ZUSAMMENFASSUNG

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Regeneration eines EGR-Kühlers (6) in einem zwischen einem Auslass- (3) und einem Einlasssystem (2) einer Brennkraftmaschine (1) angeordneten EGR-Strang (5), wobei im EGR-Strang (5) zumindest ein mindestens einen ersten Abgasströmungsweg (31) aufweisender EGR-Kühler (6) angeordnet ist, welcher über zumindest eine mindestens einen zweiten Abgasströmungsweg (32) aufweisende Umgehungsleitung (8) umgehbar ist, wobei während zumindest einer Kaltstart- und Warmlaufphase der Brennkraftmaschine (1) ein Regenerationsbetriebes des EGR-Kühlers (6) durchgeführt wird. Um eine effektive Regeneration des EGR-Kühlers (6) durchführen zu können ist vorgesehen, dass kondensierendes Wasser des Abgasvolumens aus dem Verbrennungsprozess im EGR-Kühler (6) von einer abgasseltigen Sekundärschicht (22) der Wandverschmutzung (20) des EGR-Kühlers (6) während einer Sättigungsphase absorbiert wird, und dass das absorbierten Wassers während einer Reinigungsphase im Warmlauf der Brennkraftmaschine (1) erhitzen wird und expandiert, so dass die Sekundärschicht (22) entfernt wird.

Fig. 4

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Regeneration eines EGR-Kühlers in einem zwischen einem Auslass- und einem Einlasssystem einer Brennkraftmaschine angeordneten EGR-Strang, wobei im EGR-Strang zumindest ein mindestens einen ersten Abgasströmungsweg aufweisender EGR-Kühler angeordnet ist, welcher über zumindest eine mindestens einen zweiten Abgasströmungsweg aufweisende Umgehungsleitung umgehbar ist, wobei während zumindest einer Kaltstart- und Warmlaufphase der Brennkraftmaschine ein Regenerationsbetriebes des EGR-Kühlers durchgeführt wird.

EGR-Kühler (EGR = **E**xhaus **G**as **R**ecirculation), insbesondere solche, welche in Diesel-Brennkraftmaschinen eingesetzt werden, verlieren während des Betriebes wegen Verschmutzungen der Wände des EGR-Kühlers, insbesondere durch Partikel und unverbrannte Kraftstoff/Schmieröl im Abgas wesentlich an Kühlleistung. Es sind thermische Verfahren bekannt, um die Verschmutzungen an den Wänden des EGR-Kühlers zu entfernen.

Aus der AT 504 741 B1 ist Verfahren zur Regeneration eines EGR-Kühlers in einem zwischen einem Auslass- und einem Einlasssystem einer Brennkraftmaschine angeordneten EGR-Strang bekannt, wobei im EGR-Strang ein EGR-Ventil angeordnet ist. Um eine Regeneration des EGR-Kühlers durchführen zu können, wird während des Regenerationsbetriebes des EGR-Kühlers der Durchfluss durch den EGR-Kühler und/oder die Gastemperatur des EGR-Kühlers schlagartig verändert. Das Verfahren beruht auf der Beobachtung, dass die Durchführung eines Lastwechsels bei einer Brennkraftmaschine einen gewissen regenerativen Effekt auf den EGR-Kühler ausübt. Dabei wird angenommen, dass dieser Regenerationseffekt auf Wärmespannungen zu Folge von Temperaturänderungen, auf hohe Scherungsspannungen zu Folge der Gasgeschwindigkeit und durch Vibrationen des EGR-Systems bei unzeitigem Wechsel des Durchflusses zurückzuführen ist.

Die US 6,826,903 B2 beschreibt ein Abgasrückführsystem mit einem EGR-Kühler in einem EGR-Strang. In Abhängigkeit der Kühlleistung des EGR-Kühlers wird eine Regeneration des EGR-Kühlers eingeleitet, indem die Temperatur des Abgases erhöht wird, um Ruß oder unverbrannte Kohlenwasserstoffe im EGR-Kühler thermisch zu beseitigen. Nachteilig ist, dass zur Erhöhung der Temperatur des Abgases in die innermotorische Steuerung der Brennkraftmaschine eingegriffen wird, was zu erhöhtem Verbrauch und Emissionen führt.

Ferner sind aus der US 6,848,434 B2 und der US 6,085,732 A Verfahren zum Berechnen der Wirkungsgradverluste eines EGR-Kühlers bekannt.

Aufgabe der Erfindung ist es, ein Verfahren der eingangs genannten Art weiter zu verbessern, um eine effektivere Regenerierung des EGR-Kühlers zu ermöglichen.

Erfindungsgemäß wird dies durch folgende Schritte erreicht:

- a. Unterteilen des Regenerationsbetrieb in eine Sättigungsphase und eine an die Sättigungsphase anschließende Reinigungsphase, wobei die Sättigungsphase dem Kaltstart und die Reinigungsphase dem Warmlauf der Brennkraftmaschine zugeordnet wird,
- b. Befördern eines definierten Abgasvolumens in den EGR-Kühler während der Sättigungsphase,
- c. Halten des Abgasvolumens über eine definierte Verweildauer im EGR-Kühler, so dass kondensierendes Wasser des Abgasvolumens aus dem Verbrennungsprozess im EGR-Kühler von einer abgasseitigen Sekundärschicht der Wandverschmutzung absorbiert wird,
- d. Spülen des definierten Abgasvolumens aus dem EGR-Kühler nach Ablauf der definierten Verweildauer,
- e. Erhitzen und Expandieren des in der abgasseitigen Sekundärschicht absorbierten Wassers während der Reinigungsphase im Warmlauf der Brennkraftmaschine, so dass die Sekundärschicht entfernt wird.

Nach aufwändigen Untersuchungen können die Verschmutzungs- und Regenerationsvorgänge nun besser verstanden werden und - basierend auf diesen Erkenntnissen - ein besonders effektives Regenerationsverfahren entwickelt werden.

Die Untersuchungen haben ergeben, dass das Verschmutzen des EGR-Kühlers im Wesentlichen auf vier Effekte der im Abgasstrom vagabundierenden Partikel zurückzuführen ist:

- Thermophorese: Auf Grund eines Temperaturgradienten zwischen den Partikeln im heißen Abgas und der kalten Wand des EGR-Kühlers kommt es zu einer Bewegung des heißen Partikels zur kalten Wand des EGR-Kühlers.
- Diffusion: Auf Grund von Kollisionen zwischen Gasmolekülen und Partikeln werden speziell kleine Partikel gegen die Wand des EGR-Kühlers gelenkt.
- Massenträgheit: Besonders massereiche Partikel folgen nicht immer den Strömungslinien, sondern werden auf Grund der Massenträgheit insbesondere im Eingangsbereich des EGR-Kühlers gegen die Wand des EGR-Kühlers gelenkt.
- Interzeption: Insbesondere bei geometrischen Querschnittsübergängen am Eintritt und Austritt des EGR-Kühlers werden Partikel, welche sich auf wandnahen Strömungslinien im Abgasstrom befinden, häufig abgefangen.

Dabei wird für die Entstehung der Verschmutzung angenommen, dass die Wandverschmutzung aus einer Primärschicht und einer Sekundärschicht besteht. Die wandnahe Primärschicht weist eine Temperatur unter 100° - 150° C auf und besteht aus Partikeln und kondensierten langkettigen Kohlenwasserstoffen und Schwefelverbindungen, was der Verschmutzungsschicht klebrige und hydrophobe Eigenschaften verleiht. Der Aufbau der Primärschicht hängt sowohl von der Temperatur, als auch von der gasseitigen Wandrauhigkeit ab. Die Sekundärschicht weist eine höhere Temperatur auf, welche eine Verdampfung von Kohlenwasserstoff- und Schwefelverbindungen ermöglicht. Daher besteht die Sekundärschicht hauptsächlich aus trockenem Russ, welcher es ermöglicht, kondensiertes Wasser während des Starts der Brennkraftmaschine zu absorbieren.

Der Aufbau und die Dicke der Verschmutzungsschichten hängt vom Gehalt an Partikel-, Kohlenwasserstoff- und Schwefelemissionen im Abgas, sowie vom Wärmeübergang vom Abgas durch die Schichten und kühleren Wand in das Kühlwasser des EGR-Kühlers ab. Heiße Betriebsbedingungen mit reduzierten Kohlenwasserstoff- und Schwefelemissionen führen zu einem Abtrocknen der Primärschicht und einem Umwandeln in die Sekundärschicht, und umgekehrt.

Während des Kaltstarts kondensiert Wasser aus dem Verbrennungsprozess im EGR-Kühler wegen der niedrigen Kühlwassertemperatur. Das kondensierte Wasser wird

in der Sättigungsphase in der Sekundärschicht absorbiert. Während des Warmlaufes der Brennkraftmaschine erreicht das absorbierte Wasser den Siedepunkt, was zu einer sehr schnellen Expansion der Wassermoleküle unter Aufbrechen und Entfernung des Sekundärschicht führt (Reinigungsphase). Die Verdampfung des Wassers und resultierende Sättigung der Sekundärschicht in der Sättigungsphase ist ein langsamer Vorgang, welcher einige Sekunden bis zu Minuten in Anspruch nimmt. Die maximale Wassersättigung der Sekundärschicht hängt von der Aufheizzeit, dem Wassergehalt im Abgas und den Temperatur- und Druckbedingungen im EGR-Kühler ab.

Vorzugsweise wird während der Schritte b) und/oder d) der zweite Abgasströmungsweg geschlossen und/oder der erste Abgasströmungsweg geöffnet, und während des Schrittes c) der zweite Abgasströmungsweg geöffnet und/oder der erste Abgasströmungsweg geschlossen. Die Verweildauer des Abgasvolumens im EGR-Kühler wird dabei durch die Öffnungszeit des zweiten Abgasströmungswegs und/oder die Schließzeit des ersten Abgasströmungswegs bestimmt.

Um eine ausreichende Sättigung der Sekundärschicht zu erreichen, ist es vorteilhaft, wenn die Schritte b), c) und d) wiederholt werden, bis eine vordefinierte Abbruchbedingung zutrifft. Die Abbruchbedingung kann dabei durch eine vordefinierte Sättigungsgrenze der Sekundärschicht, eine vordefinierte Zeitdauer für die Sättigungsphase - beispielsweise 100 bis 200 Sekunden - und/oder eine definierte maximale Austrittstemperatur - beispielsweise 50° bis 70° C - des Kühlmittels aus dem EGR-Kühler bestimmt werden.

Untersuchungen haben gezeigt, dass ein Aufbau der Primär- und Sekundärschichten unterbunden werden kann, wenn die Temperatur des Kühlmediums unterhalb der Wassersättigungstemperatur des Abgases, also unterhalb von 50°C, liegt. Der kontinuierliche Wasserstrom entlang den abgasseitigen Wänden des EGR-Kühlers verhindert das Anhaften von Partikeln an der Wand des EGR-Kühlers. Sobald allerdings die Primärschicht einmal aufgebaut ist, kann sie nur durch externe Reinigungsmaßnahmen wieder vollkommen entfernt werden.

Ein Kompromiss zwischen hoher Sättigung des Wassers in der Sekundärschicht und niedrigen Kohlenwasserstoff-Emissionen lässt sich innerhalb eines

Temperaturfensters zwischen 30° und 50° C der Austrittstemperatur des Kühlmittels aus dem EGR-Kühler erzielen.

Zur Wiederholung der Schritte b) bis d) kann der erste und/oder zweite Abgasströmungsweg alternierend geöffnet und geschlossen werden, wobei vorzugsweise das alternierende Öffnen und Schließen mit einer definierten Frequenz durchgeführt wird. Unter der definierten Frequenz wird hier eine definierte Anzahl an sich innerhalb einer Zeiteinheit wiederholenden Schließ- und Öffnungsvorgängen verstanden.

Eine besonders hohe Sättigung kann erreicht werden, wenn die definierte Frequenz für das Schließen und Öffnen des ersten und/oder zweiten Abgasströmungsweges maximal etwa  $10 \text{ min}^{-1}$ , vorzugsweise maximal etwa  $6 \text{ min}^{-1}$  beträgt, wobei vorzugsweise die Schließ- und Öffnungszeiten des ersten und/oder zweiten Abgasströmungsweges gleich lange gewählt werden. Die Schließ- und Öffnungszeiten können beispielsweise jeweils maximal etwa 10 Sekunden, vorzugsweise maximal etwa 5 Sekunden betragen.

Für das Öffnen und Schließen des ersten und/oder zweiten Abgasströmungsweges kann zumindest ein Umgehungsventil eingesetzt werden, welches stromaufwärts oder stromabwärts des EGR-Kühlers im ersten Abgasströmungsweg angeordnet sein kann. Alternativ oder zusätzlich kann das Umgehungsventil im durch die Umgehungsleitung gebildeten zweiten Strömungsweg angeordnet sein. Das Umgehungsventils kann auch im Bereich der Abzweigung oder Einmündung des zweiten Abgasströmungsweges vom bzw. in den ersten Abgasströmungsweg angeordnet und als Dreiwegventil oder als Umschaltklappe zwischen erstem und zweitem Strömungsweg ausgebildet sein. Durch Verwendung des Umgehungsventils kann eine maximale Sättigung der Sekundärschicht während des Kaltstarts samt maximaler Entfernung der Sekundärschicht während des Warmlaufs der Brennkraftmaschine erzielt werden.

Das Umgehungsventil des EGR Kühlers ist im allgemeinen ständig während des Kaltstarts und Warmlaufs einer Dieselmotorkraftmaschine, beispielsweise eines Personenkraftwagens, geöffnet, um die Einlasstemperatur zu erhöhen. Dies ermöglicht ein schnelleres Aufwärmen der Brennkraftmaschine und eine Reduzierung der Reibungsverluste, der Kohlenwasserstoff- und der Kohlenmonoxidemissionen, sowie eine verbesserte Verbrennungsstabilität.

Typischerweise wird das Umgehungsventil geschlossen, sobald die Kühlmitteltemperatur 50° bis 70° C erreicht.

Statt das Umgehungsventil und damit die Umgehungsleitung während der Kaltstart- und Aufwärmphase ständig geöffnet zu halten (was mit einem Sperren des Strömungsweges durch den EGR-Kühler verbunden ist), wird während des Sättigungsbetriebs das Umgehungsventil mit einer vordefinierten Frequenz alternierend geschlossen und geöffnet.

Beim Schließen des durch die Umgehungsleitung gebildeten zweiten Abgasströmungsweges und gleichzeitigem Öffnen des ersten Abgasströmungsweges durch den EGR-Kühler durch das Umgehungsventil wird ein durch eine Säule heißen Abgases gebildetes definiertes Abgasvolumen in den EGR-Kühler geleitet. Durch das folgende Öffnen des ersten Abgasströmungsweges durch den EGR-Kühler, was mit einem Öffnen des zweiten Abgasströmungsweges verbunden ist, wird die Abgassäule innerhalb des EGR-Kühlers gehalten, wodurch genügend Zeit zur Verfügung gestellt wird, damit das kondensierende Wasser in die Sekundärschicht eindringt. Sobald das Umgehungsventil wieder geschlossen wird, wird erneut eine heiße Abgassäule in den EGR-Kühler befördert. Das wiederholte Öffnen und Schließen des Umgehungsventils des EGR-Kühler während der Aufwärmphase der Brennkraftmaschine maximiert die Menge des von der Sekundärschicht aufgenommenen kondensierenden Wassers. Bei betriebswarmem Motor wird das von der Sekundärschicht absorbierte Wasser verdampft, was zu einer verbesserten Reinigung des EGR-Kühlers führt.

Umfangreiche Untersuchungen haben ergeben, dass eine besonders effiziente Regeneration des EGR-Kühlers möglich wird, wenn die definierte Frequenz für das Öffnen und Schließen des Umgehungsventil während des Sättigungsbetriebs des EGR-Kühlers minimal etwa  $6 \text{ min}^{-1}$  und maximal etwa  $10 \text{ min}^{-1}$  beträgt. Die Öffnungszeiten und/oder Schließzeiten des Umgehungsventils während des Sättigungsbetriebs des EGR-Kühlers kann dabei maximal etwa 10 Sekunden, vorzugsweise maximal etwa 5 Sekunden betragen. Besonders vorteilhaft ist es dabei, wenn das Umgehungsventil während des Sättigungsbetriebs des EGR-Kühlers mit gleichen Öffnungs- und Schließzeiten geöffnet und geschlossen wird. Die maximale Sättigung der Sekundärschicht während des Sättigungsbetriebs ist abhängig von physikalischen und geometrischen Faktoren wie EGR-Temperatur und



Druck, EGR-Massenstrom, EGR-Kühlergeometrie, Wandtemperatur, Wärmeübergang, Masse-Wasserdampf in EGR usw. Die optimale Schaltstrategie des Umgehungsventil kann mit einem physikalischen Modell genau berechnet werden.

Um eine gute Sättigung der Sekundärschicht und damit einen hohen Regenerationseffekt des EGR-Kühlers zu erreichen, ist es dabei besonders vorteilhaft, wenn das Umgehungsventil während des Sättigungsbetriebs des EGR-Kühlers über eine definierte Zeitdauer von zumindest etwa 100 Sekunden, vorzugsweise über eine Zeitdauer von etwa 200 Sekunden mit der definierten Frequenz kontinuierlich geöffnet und geschlossen wird. Das alternierende Öffnen und Schließen des Umgehungsventils sollte dabei nur durchgeführt werden, wenn die Austrittstemperatur des Kühlmittels aus dem EGR-Kühler in einem definierten Temperaturfenster, vorzugsweise zwischen 30° und 50° C liegt. Sobald die Austrittstemperatur des Kühlmittels aus dem EGR-Kühler eine definierte maximale Regenerationstemperatur von vorzugsweise etwa 50° C überschreitet, wird das alternierende Öffnen und Schließen des Umgehungsventils beendet.

Ein dem EGR-Kühler vorgelagerter Oxidationskatalysator kann die Primärschicht verringern und somit das Regenerationsverhalten während des Kaltstarts verbessern.

Die Erfindung wird im Folgenden anhand der Figuren näher erläutert. Es zeigen schematisch Fig. 1 eine Brennkraftmaschine zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens, Fig. 2 einen EGR-Kühler dieser Brennkraftmaschine in einer Ausführungsvariante im Detail, Fig. 3a und Fig. 3b einen EGR-Kühler dieser Brennkraftmaschine in anderen Ausführungsvariante mit verschiedenen Stellungen des Umgehungsventils, Fig. 4a und Fig. 4b den Regenerationsprozess während eines Kaltstarts bei Anwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens, Fig. 5 den Temperaturverlauf im EGR-Kühler bei Anwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens, Fig. 6 den Temperaturverlauf im EGR-Kühler für mehrere Szenarien bei Anwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens und Fig. 7 den Verlauf des EGR-Kühlerwirkungsgrad für mehrere Szenarien bei Anwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens.

Die Fig. 1 zeigt schematisch eine Brennkraftmaschine 1 mit einem Einlassstrang 2 und einem Auslassstrang 3, wobei zwischen dem Auslassstrang 3 und dem Einlassstrang 2 ein EGR-System 4 mit einem EGR-Strang 5 angeordnet ist. Der

EGR-Strang 5 weist einen in einem ersten Abgasströmungsweg 31 angeordneten EGR-Kühler 6 und ein EGR-Ventil 7 auf. Weiters ist eine einen zweiten Abgasströmungsweg 32 bildende Umgehungsleitung 8, sowie ein Umgehungsventil 9 zur Umgehung des EGR-Kühlers 6 vorgesehen. Das Umgehungsventil 9 kann - wie in Fig. 1 gezeigt - in der Umgehungsleitung 8, stromaufwärts des EGR-Kühlers 6, oder stromabwärts des EGR-Kühlers 6 angeordnet sein. Besonders vorteilhaft ist es, wenn das Umgehungsventil 6 als 3-Wegventil oder als Schaltklappe ausgebildet und im Bereich der Abzweigung 5a (bzw. Einmündung 5b) des zweiten Abgasströmungsweges 32 vom (bzw. in den) ersten Abgasströmungsweg 31 angeordnet ist, wie in den Fig. 3a und Fig. 3b angedeutet ist.

Fig. 2 zeigt den EGR-Kühler 6 samt Umgehungsleitung 8 im Detail. Mit  $T_1$  ist die Eintrittstemperatur des Abgases 24, mit  $T_2$  die Austrittstemperatur des Abgases 24, mit  $T_{w1}$  die Eintrittstemperatur des (vom Kühlmittelkreislauf der Brennkraftmaschine 1 kommenden) Kühlmittels 25 und mit  $T_{w2}$  die Austrittstemperatur des zur Kühlmittels 25 aus dem EGR-Kühler 6 bezeichnet.

Die Umgehungsleitung 8 und EGR-Kühler 6, sowie ein durch ein Dreiwegventil oder eine Umschaltklappe gebildetes Umgehungsventil 9 können auch in einem gemeinsamen Bauteil angeordnet sein, wie die Fig. 3a und Fig. 3b - für verschiedene Stellungen des Umgehungsventils 9 - zeigen.

Um eine optimale Funktion des EGR-Kühlers 6 zu gewährleisten, wird in regelmäßigen oder in unregelmäßigen Abständen eine Regeneration des EGR-Kühlers 6 durchgeführt. Diese Regeneration kann entweder im Bedarfsfall, also bei Unterschreiten der Kühlleistung des EGR-Kühlers 6 unterhalb eines definierten Schwellwertes, oder regelmäßig in bestimmten Betriebszuständen der Brennkraftmaschine 1 durchgeführt werden.

Die Regeneration des EGR-Kühlers 6 wird durch die Verdampfung von Kondenswasser EGR-Kühler 6 erreicht. Der Regenerationsbetrieb des EGR-Kühlers 6 wird dabei in eine Sättigungsphase und in eine an die Sättigungsphase anschließende Reinigungsphase unterteilt. Die Sättigungsphase ist dabei dem Kaltstart, die Reinigungsphase dem an den Kaltstart anschließenden Warmlauf zugeordnet.

Die Wandverschmutzungen 20 (Fig. 4) an der Wand 6a des EGR-Kühlers 6 bestehen im allgemeinen aus einer klebrigen, hydrophoben Primärschicht 21 und einer Sekundärschicht 22 aus trockenem Russ.

Kondenswasser im Bereich des EGR-Kühlers 6 tritt insbesondere dann auf, wenn bei kaltem Motor, als beispielsweise bei Kaltstart, eine Abgasrückführung durchgeführt wird. Auf Grund der niedrigen Kühlwassertemperatur kondensiert Wasser 23 aus dem Verbrennungsprozess während des Kaltstarts an den kalten Wänden 6a des EGR-Kühlers 6 (Fig. 4a). Das kondensierte Wasser 23 wird während der Sättigungsphase in der Sekundärschicht 22 absorbiert. Während des Warmlaufes der Brennkraftmaschine 1 findet die Reinigungsphase statt, wobei das absorbierte Wasser 23 den Siedepunkt erreicht, was zu einer sehr schnellen Expansion der Wassermoleküle unter Aufbrechen und Entfernung der Sekundärschicht 22 führt (siehe Fig. 4b). Die Verdampfung des Wassers 23 und resultierende Sättigung der Sekundärschicht 22 ist ein relativ langsamer Vorgang, welcher einige Sekunden bis zu Minuten in Anspruch nimmt. Die maximale Wassersättigung der Sekundärschicht 22 hängt von der Aufheizzeit, dem Wassergehalt im Abgas 24 und den Temperatur- und Druckbedingungen im EGR-Kühler 6 ab.

Der dem EGR-Kühler 6 vorgelagerte Oxidationskatalysator 10 kann die Primärschicht 21 verringern und somit das Regenerationsverhalten während des Kaltstarts und Warmlaufs verbessern.

Untersuchungen haben gezeigt, dass ein Aufbau der Primär- und Sekundärschichten 21, 22 unterbunden werden kann, wenn die Eintrittstemperatur  $T_{w1}$  des Kühlmediums 25 des EGR-Kühlers 6 unterhalb der Wassersättigungstemperatur des Abgases 24, also unterhalb von 50°C, liegt. Der kontinuierliche Wasserstrom entlang den abgasseitigen Wänden 6a des EGR-Kühlers 6 verhindert das Anhaften von Partikeln an der Wand des EGR-Kühlers 6. Sobald allerdings die Primärschicht 21 einmal aufgebaut ist, kann sie nur durch externe Reinigungsmaßnahmen wieder vollkommen entfernt werden.

Beim hier beschriebenen Verfahren wird das Umgehungsventil 9 des EGR-Kühlers 6 verwendet, um eine maximale Sättigung der Sekundärschicht 22 während des Kaltstarts samt maximaler Entfernung der Sekundärschicht 22 während des Warmlaufs der Brennkraftmaschine 1 zu erzielen.

Das Umgehungsventil 9 des EGR-Kühlers 6 ist im allgemeinen ständig während des Kaltstarts und Warmlaufs einer Dieselmotorkraftmaschine, beispielsweise eines Personenkraftwagens, geöffnet, um die Einlasstemperatur zu erhöhen. Dies ermöglicht ein schnelleres Aufwärmen der Brennkraftmaschine 1 und eine Reduzierung der Reibungsverluste, der Kohlenwasserstoff- und der Kohlenmonoxidemissionen, sowie eine verbesserte Verbrennungsstabilität. Typischerweise wird das Umgehungsventil 9 geschlossen, sobald die Kühlmittelaustrittstemperatur  $T_{W2}$  50° bis 70° C erreicht.

Statt das Umgehungsventil 9 während der Kaltstart- und Aufwärmphase ständig geöffnet zu halten, wird während der Regenerationsphase das Umgehungsventil 9 mit einer definierten Frequenz alternierend geöffnet und geschlossen. Die Frequenz kann dabei statisch festgesetzt sein oder dynamisch in Abhängigkeit von zumindest einem Betriebsparameter während der Regenerationsphase verändert werden. In Fig. 5 ist die Austrittstemperatur  $T_{W2}$  des Kühlmittels 25 und die Austrittstemperatur  $T_2$  des Abgases 24 aus dem EGR-Kühler 6 über der Zeit  $t$  für 300 Sekunden  $s$  aufgetragen. Weiters sind die Stellungen des Umgehungsventils 9 über der Zeit  $t$  aufgetragen, wobei mit V1 die Schließposition - für einen gesperrten Umgehungsleitung 8 - und mit V2 die Öffnungsposition - für einen geöffneten Umgehungsleitung 8 - des Umgehungsventils 9 eingezeichnet ist.

Beim Schließen des durch die Umgehungsleitung 8 gebildeten zweiten Abgasströmungsweges 32 durch das Umgehungsventils 9 wird ein definiertes Abgasvolumen bildende Säule heißen Abgases in den EGR-Kühler 6 geleitet. Durch das folgende Öffnen des zweiten Abgasströmungsweges 32 durch das Umgehungsventil 9 wird die Abgassäule innerhalb des EGR-Kühlers 6 gehalten, wodurch genügend Zeit zur Verfügung gestellt wird, damit das kondensierende Wasser 23 in die Sekundärschicht 22 eindringt. Sobald der zweite Abgasströmungsweg 32 durch das Umgehungsventil 9 wieder geschlossen wird, wird erneut eine heiße Abgassäule in den EGR-Kühler 6 befördert. Das wiederholte Öffnen und Schließen des Umgehungsventils des EGR-Kühlers 6 während des Kaltstarts der Brennkraftmaschine 1 maximiert die Menge des von der Sekundärschicht 22 aufgenommenen kondensierenden Wassers 23. Bei betriebswarmem Motor (Warmlauf) wird das von der Sekundärschicht 22 absorbierte Wasser 23 verdampft, was zu einer verbesserten Reinigung des EGR-Kühlers 6 führt.

Fig. 6 zeigt den Verlauf der Austrittstemperatur  $T_2$  über der Zeit  $t$  für eine Zeitdauer über 1600 Sekunden  $s$  hinweg, wobei mehrere Szenarien  $S_0$ ,  $S_1$ ,  $S_2$ ,  $S_3$  dargestellt sind.  $T_{20}$  zeigt eine Referenzkurve ohne Regeneration des EGR-Kühlers 6 (Szenario  $S_0$ ),  $T_{21}$  die Situation mit Regeneration des EGR-Kühlers 6 mit gleichen Öffnungs- und Schließzeiten des Umgehungsventils 9, wobei die Öffnungs- und Schließzeiten 5 Sekunden betragen (Szenario  $S_1$ ). Die Kurven  $T_{22}$  und  $T_{23}$  zeigen Temperaturkurven für asymmetrisches Öffnen und Schließen des Umgehungsventils 9, wobei bei  $T_{22}$  die Öffnungszeit für den zweiten Abgasströmungsweg 32 5 Sekunden und die Schließzeit 1 Sekunde (Szenario  $S_2$ ), und bei  $T_{23}$  die Öffnungszeit 10 Sekunden und die Schließzeit 1 Sekunde beträgt (Szenario  $S_3$ ). In Fig. 7 sind die entsprechenden EGR-Kühleraustauschgrade  $\eta_{c0}$ ,  $\eta_{c1}$ ,  $\eta_{c2}$ ,  $\eta_{c3}$  für die Szenarien  $S_0$ ,  $S_1$ ,  $S_2$ ,  $S_3$  über der Zeit  $t$  dargestellt. Deutlich ist zu erkennen, dass mit Szenario 1 mit gleichen Öffnungs- und Schließzeiten von jeweils 5 Sekunden die besten EGR-Kühleraustauschgrade  $\eta_{c1}$  erzielbar sind. In Fig. 6 und Fig. 7 sind weiters jeweils die Bereiche für Kühlmittelaustrittstemperaturen  $T_{w2}=50^\circ \text{ C}$  und  $T_{w2}=90^\circ \text{ C}$  eingetragen.

Umfangreiche Untersuchungen haben ergeben, dass eine besonders effiziente Regeneration des EGR-Kühlers 6 möglich wird, wenn die definierte Frequenz  $f$  für das Schließen  $V_1$  (Schließen der zweiten Abgasströmungsweges 32) und Öffnen  $V_2$  (Öffnen des zweiten Abgasströmungsweges 32) des Umgehungsventils 9 während des Sättigungsbetriebs des EGR-Kühlers 6 minimal etwa  $6 \text{ min}^{-1}$  und maximal etwa  $10 \text{ min}^{-1}$  beträgt. Die Schließzeit  $t_1$  des Umgehungsventils 9, während der der zweite Abgasströmungsweg 32 während des Sättigungsbetriebs des EGR-Kühlers 6 geschlossen (und der erste Abgasströmungsweg 31 geöffnet) ist, beträgt minimal etwa 1 Sekunde und maximal etwa 5 Sekunden. Die Öffnungszeit  $t_2$  des Umgehungsventils 9, während der der zweite Abgasströmungsweg 32 während des Sättigungsbetriebes des EGR-Kühlers 6 geöffnet (und der erste Abgasströmungsweg 31 bevorzugt geschlossen) ist, beträgt minimal etwa 5 Sekunden und maximal etwa 10 Sekunden. Besonders vorteilhaft ist es dabei, wenn das Umgehungsventil 9 während des Sättigungsbetriebes des EGR-Kühlers 6 mit gleichen Schließ- und Öffnungszeiten  $t_1$ ,  $t_2$  geöffnet und geschlossen wird.

Um einen gute Sättigung der Sekundärschicht 22 zu erreichen, sollte sich der Sättigungsvorgang zumindest über eine definierte Zeitdauer  $t_3$  von zumindest etwa 100 Sekunden, vorzugsweise über eine Zeitdauer  $t_3$  von etwa 200 Sekunden

erstrecken. Das alternierende Schließen und Öffnen des Umgehungsventil 9 sollte dabei nur durchgeführt wird, wenn die Austrittstemperatur  $T_{w2}$  des Kühlmittels aus dem EGR-Kühler 6 in einem definierten Temperaturfenster, vorzugsweise zwischen 30° und 50° C liegt. Sobald die Austrittstemperatur des Kühlmittels aus dem EGR-Kühler 6 eine definierte maximale Temperatur von vorzugsweise etwa 50° C überschreitet, wird das alternierende Öffnen und Schließen des Umgehungsventils 9 beendet.

## PATENTANSPRÜCHE

1. Verfahren zur Regeneration eines EGR-Kühlers (6) in einem zwischen einem Auslass- (3) und einem Einlasssystem (2) einer Brennkraftmaschine (1) angeordneten EGR-Strang (5), wobei im EGR-Strang (5) zumindest ein mindestens einen ersten Abgasströmungsweg (31) aufweisender EGR-Kühler (6) angeordnet ist, welcher über zumindest eine mindestens einen zweiten Abgasströmungsweg (32) aufweisende Umgehungsleitung (8) umgehbar ist, wobei während zumindest einer Kaltstart- und Warmlaufphase der Brennkraftmaschine (1) ein Regenerationsbetriebes des EGR-Kühlers (6) durchgeführt wird, gekennzeichnet durch folgende Schritte:
  - a. Unterteilen des Regenerationsbetrieb in eine Sättigungsphase und eine an die Sättigungsphase anschließende Reinigungsphase, wobei die Sättigungsphase dem Kaltstart und die Reinigungsphase dem Warmlauf der Brennkraftmaschine (1) zugeordnet wird,
  - b. Befördern eines definierten Abgasvolumens in den EGR-Kühler (6) während der Sättigungsphase,
  - c. Halten des Abgasvolumens über eine definierte Verweildauer im EGR-Kühler (6), so dass kondensierendes Wasser des Abgasvolumens aus dem Verbrennungsprozess im EGR-Kühler (6) von einer abgasseitigen Sekundärschicht (22) der Wandverschmutzung (20) des EGR-Kühlers (6) absorbiert wird,
  - d. Spülen des definierten Abgasvolumens aus dem EGR-Kühler (6) nach Ablauf der definierten Verweildauer,
  - e. Erhitzen und Expandieren des in der abgasseitigen Sekundärschicht (22) absorbierten Wassers während der Reinigungsphase im Warmlauf der Brennkraftmaschine (1), so dass die Sekundärschicht (22) entfernt wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass während der Schritte b) und/oder d) der zweite Abgasströmungsweg (32) geschlossen und/oder der erste Abgasströmungsweg (31) geöffnet wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass während des Schrittes c) der zweite Abgasströmungsweg (32) geöffnet und/oder der erste Abgasströmungsweg (31) geschlossen wird.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Verweildauer des Abgasvolumens im EGR-Kühler (6) durch die Öffnungszeit ( $t_2$ ) des zweiten Abgasströmungswegs (32) und/oder die Schließzeit des ersten Abgasströmungswegs (31) definiert ist.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Schritte b), c) und d) wiederholt werden, bis eine vordefinierte Abbruchbedingung zutrifft.
6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Abbruchbedingung durch eine vordefinierte Sättigungsgrenze der Sekundärschicht (22) bestimmt wird.
7. Verfahren nach Anspruch 5 oder 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Abbruchbedingung durch Ablauf einer vordefinierte Zeitdauer ( $t_3$ ) der Sättigungsphase bestimmt wird, wobei vorzugsweise Zeitdauer ( $t_3$ ) zumindest etwa 100 Sekunden, besonders vorzugsweise zumindest etwa 200 Sekunden beträgt.
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 5 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass Abbruchbedingung durch eine vordefinierte maximale Austrittstemperatur ( $T_{w2}$ ) des Kühlmittels (25) aus dem EGR-Kühler (6) bestimmt wird, wobei vorzugsweise die definierte maximale Austrittstemperatur ( $T_{w2}$ ) des Kühlmittels (25) aus dem EGR-Kühler (6) etwa 50° C beträgt.
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Schritte b), c) und d) nur durchgeführt werden, wenn die Austrittstemperatur ( $T_{w2}$ ) des Kühlmittels (25) aus dem EGR-Kühler (6) in

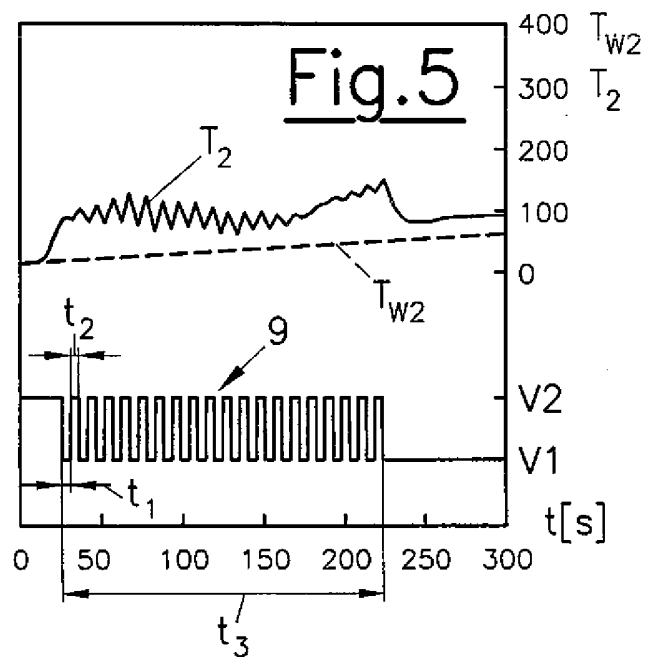
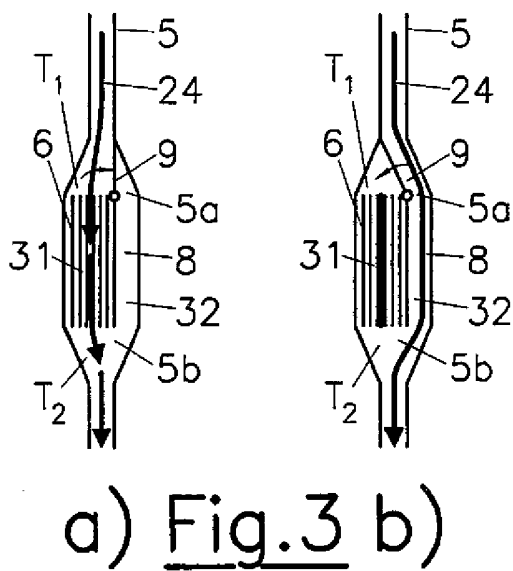
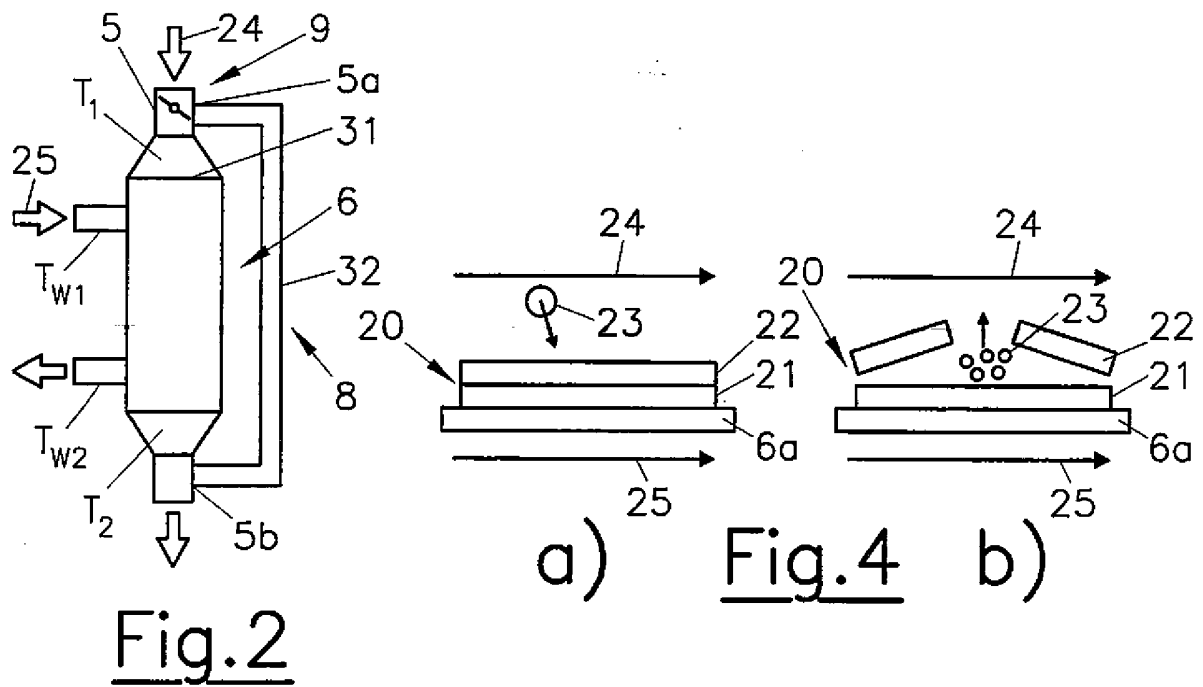
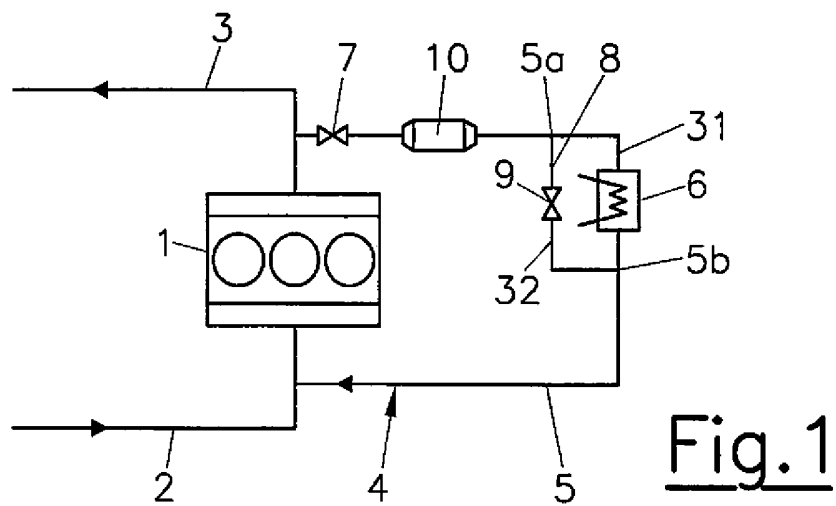


einem definierten Temperaturfenster, vorzugsweise zwischen 30° und 50° C, liegt.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass der erste und/oder zweite Abgasströmungsweg (31; 32) alternierend geöffnet und geschlossen wird, wobei das alternierende Öffnen und Schließen mit einer definierten Frequenz (f) durchgeführt wird.
11. Verfahren nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass die definierte Frequenz (f) für das Schließen und Öffnen des ersten und/oder zweiten Abgasströmungsweges (31; 32) maximal etwa  $10 \text{ min}^{-1}$ , vorzugsweise maximal etwa  $6 \text{ min}^{-1}$  beträgt.
12. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass die Schließ- und Öffnungszeiten ( $t_1$ ,  $t_2$ ) des ersten und/oder zweiten Abgasströmungsweges (31; 32) gleich lange gewählt werden.
13. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass die Schließzeit ( $t_1$ ) des zweiten Abgasströmungsweges (32) und/oder die Öffnungszeit des ersten Abgasströmungsweges (31) maximal etwa 10 Sekunden, vorzugsweise maximal etwa 5 Sekunden beträgt.
14. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 13, dadurch gekennzeichnet, dass die Öffnungszeiten ( $t_2$ ) des zweiten Abgasströmungsweges (32) und/oder die Schließzeit des ersten Abgasströmungsweges (31) maximal etwa 10 Sekunden, vorzugsweise maximal etwa 5 Sekunden beträgt.
15. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 14, dadurch gekennzeichnet, dass dem EGR-Kühler (6) ein Oxidationskatalysator (10) vorgeschaltet wird.

2012 12 20

Fu/Sc



NACHGEREICHT

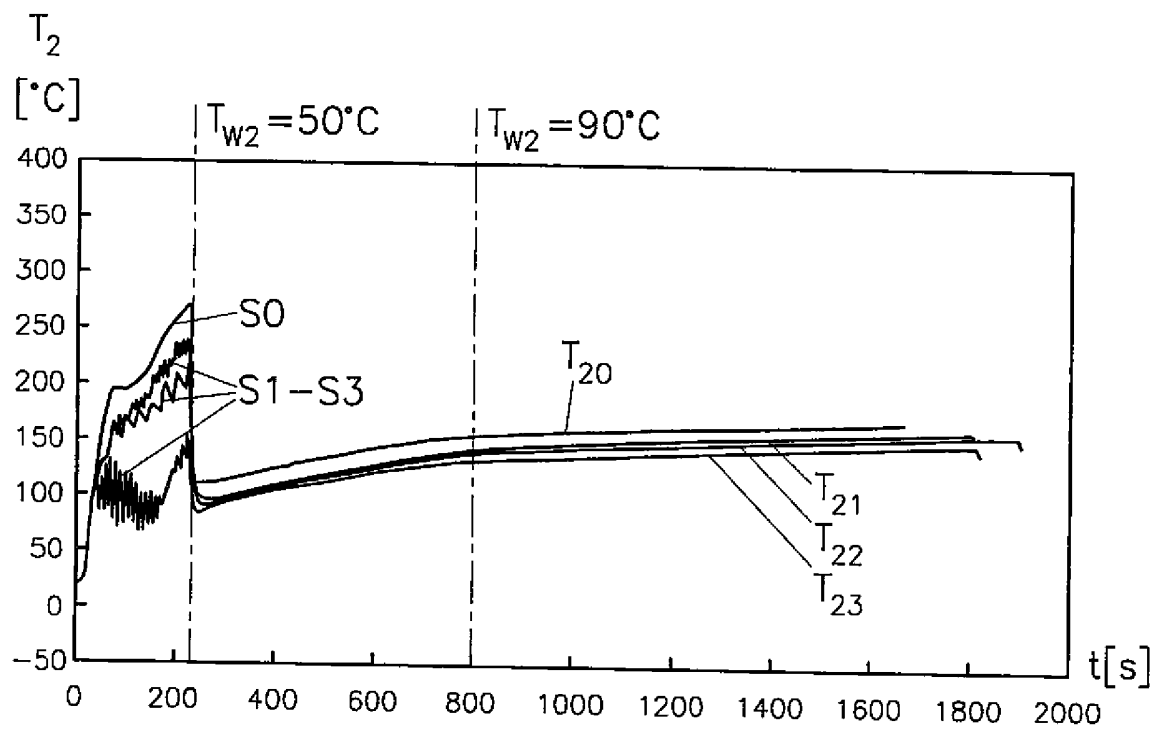


Fig.6

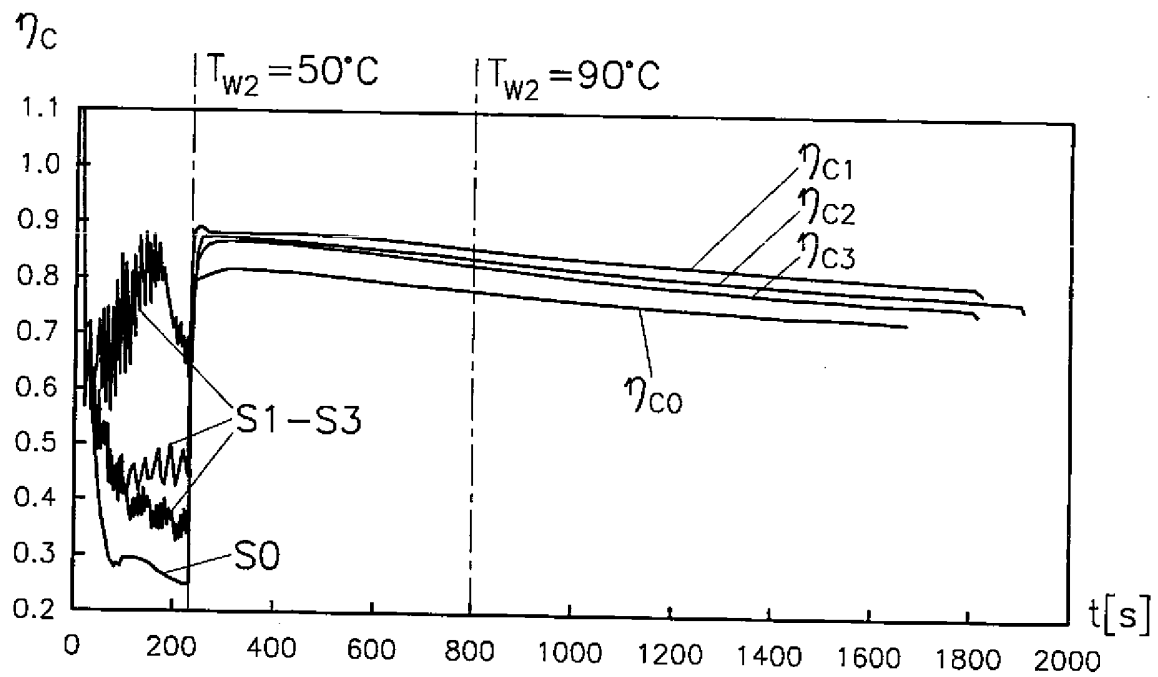


Fig.7