



(86) Date de dépôt PCT/PCT Filing Date: 2003/04/01
(87) Date publication PCT/PCT Publication Date: 2003/10/09
(45) Date de délivrance/Issue Date: 2009/12/15
(85) Entrée phase nationale/National Entry: 2004/09/28
(86) N° demande PCT/PCT Application No.: FR 2003/001013
(87) N° publication PCT/PCT Publication No.: 2003/083153
(30) Priorité/Priority: 2002/04/03 (FR02/04115)

(51) Cl.Int./Int.Cl. *C22C 38/44* (2006.01),
B22D 17/22 (2006.01), *B29C 33/38* (2006.01),
B29C 45/37 (2006.01), *C22C 38/42* (2006.01),
C22C 38/46 (2006.01), *C22C 38/58* (2006.01),
C22C 38/60 (2006.01)
(72) Inventeur/Inventor:
BEGUINOT, JEAN, FR
(73) Propriétaire/Owner:
INDUSTEEL FRANCE, FR
(74) Agent: ROBIC

(54) Titre : BLOC EN ACIER POUR LA FABRICATION DE MOULES D'INJECTION DE MATIERE PLASTIQUE OU POUR
LA FABRICATION DE PIECES POUR LE TRAVAIL DES METAUX
(54) Title: BULK STEEL FOR THE PRODUCTION OF INJECTION MOULDS FOR PLASTIC MATERIAL OR FOR THE
PRODUCTION OF PIECES FOR WORKING METALS

(57) **Abrégé/Abstract:**

Bloc en acier pour la fabrication de moules d'injection de matière plastique ou pour la fabrication de pièces pour le travail des métaux d'épaisseur supérieure à 20 mm, dont la structure est entièrement martensitique ou martensito-bainitique, dont la dureté est comprise entre 430 HB et 530 HB et dont la composition chimique comprend, en % en poids : $0,180\% \leq C \leq 0,400\%$; $Si \leq 0,8\%$; $Mn \leq 2,5\%$; $Ni \leq 3\%$; $Cr \leq 3,5\%$; $Mo+W/2 \leq 2,8\%$; $V + Nb/2 + Ta/4 \leq 0,5\%$; $Al \leq 0,4\%$; $Ti + Zr/2 \leq 0,1\%$; $0,0005\% < B < 0,015\%$; $S + Se + Te < 0,2\%$; $Pb + Bi < 0,2\%$; $Ca < 0,1\%$; le reste étant du fer et des impuretés résultant de l'élaboration, la composition chimique satisfaisant en outre les relations suivantes : $3,2 \leq Tr \leq 9$; $85 \leq Dr \leq 95$; $U/Dr \leq 10,0$; avec : $Tr = 1,8xC + 1,1xMn + 0,7xNi + 0,6xCr + 1,6xMo^* + 0,5$; $Dr = 54xC^{0,25} + 24,5x(Mo^* + 3xV^*)^{0,30} + 1,58xMn + 0,74xNi + 1,8xSi + 12,5x(Cr)^{0,20}$; $U = 1600xC + 100x(0,25xCr + Mo^* + 4,5xV^*)$; $R = 3,8xC + 10xSi + 3,3xMn + 2,4xNi + 1,4x(Cr + Mo^*)$; $Mo^* + 3xV^* \geq 0,4\%$; $Mo^* = Mo + W/2$; $V^* = V + Nb/2 + Ta/4$; et $B \geq 1/3 K_1 + 0,5$; avec $K_1 = \min(I^* ; J^*)$; $I^* = \max(O ; I)$; $J^* = \max(O ; J)$; $I = \min(N ; N - 0,29(Ti + Zr/2 - 5))$; Formula F(a).



(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION
EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)(19) Organisation Mondiale de la Propriété
Intellectuelle
Bureau international(43) Date de la publication internationale
9 octobre 2003 (09.10.2003)

PCT

(10) Numéro de publication internationale
WO 03/083153 A1(51) Classification internationale des brevets⁷ :
C22C 38/44, 38/46, 38/58, 38/60, 38/42(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/FR03/01013

(22) Date de dépôt international : 1 avril 2003 (01.04.2003)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :
02/04115 3 avril 2002 (03.04.2002) FR(71) Déposant (*pour tous les États désignés sauf US*) : **USI-NOR** [FR/FR]; Immeuble La Pacific - La Défense 7, 11-13, cours Valmy, F-92800 Puteaux (FR).

(72) Inventeur; et

(75) Inventeur/Déposant (*pour US seulement*) : **BEGUINOT, Jean** [FR/FR]; 12, rue des Pyrénées, F-71200 Le Creusot (FR).(74) Mandataires : **LAGRANGE, Jacques** etc.; Cabinet Lavoix, 2, Place d'Estienne d'Orves, F-75441 Paris Cedex 09 (FR).(81) États désignés (*national*) : AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NI, NO, NZ, OM, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.(84) États désignés (*régional*) : brevet ARIPO (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), brevet eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), brevet européen (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), brevet OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Publiée :

- avec rapport de recherche internationale
- avant l'expiration du délai prévu pour la modification des revendications, sera republiée si des modifications sont requises

En ce qui concerne les codes à deux lettres et autres abréviations, se référer aux "Notes explicatives relatives aux codes et abréviations" figurant au début de chaque numéro ordinaire de la Gazette du PCT.

(54) Title: BULK STEEL FOR THE PRODUCTION OF INJECTION MOULDS FOR PLASTIC MATERIAL OR FOR THE PRODUCTION OF PIECES FOR WORKING METALS

(54) Titre : BLOC EN ACIER POUR LA FABRICATION DE MOULES D'INJECTION DE MATIERE PLASTIQUE OU POUR LA FABRICATION DE PIECES POUR LE TRAVAIL DES METAUX

(57) Abstract: The invention relates to a bulk steel for the production of injection moulds for plastic material or for the production of pieces for working metals with a thickness greater than 20 mm, the structure of which is entirely martensitic or martensite-bainitic, the hardness of which lies between 430 HB and 530 HB and the chemical composition of which is as follows in wt. %: 0.180 % = C = 0.400 %; Si = 0.8 %; Mn = 2.5 %; Ni = 3 %; Cr = 3.5 %; Mo+W/2 = 2.8 %; V + Nb/2 + Ta/4 = 0.5 %; Al = 0.4 %; Ti + Zr/2 = 0.1 %; 0.0005 % < B < 0.015 %, S + Se + Te < 0.2 %, Pb + Bi < 0.2 %, Ca < 0.1 %, the remainder being iron and impurities arising in production. The chemical composition further satisfies the following relationships: $3.2 = \text{Tr} = 9$; $85 = \text{Dr} = 95$; $\text{U/Dr} = 10.0$; with: $\text{Tr} = 1.8\text{x}C + 1.1\text{xMn} + 0.7\text{xNi} + 0.6\text{xCr} + 1.6\text{xMo}^* + 0.5$; $\text{Dr} = 54\text{x}C^{0.25} + 24.5\text{x}(\text{Mo}^* + 3\text{xV}^*)^{0.30} + 1.58\text{xMn} + 0.74\text{xNi} + 1.8\text{xSi} + 12.5\text{x}(\text{Cr})^{0.20}$; $\text{U} = 1600\text{x}C + 100\text{x}(0.25\text{xCr} + \text{Mo}^* + 4.5\text{xV}^*)$; $\text{R} = 3.8\text{x}C + 10\text{xSi} + 3.3\text{xMn} + 2.4\text{xNi} + 1.4\text{x}(\text{Cr} + \text{Mo}^*)$; $\text{Mo}^* + 3\text{xV}^* = 0.4$ %; $\text{Mo}^* = \text{Mo} + \text{W}/2$; $\text{V}^* = \text{V} + \text{Nb}/2 + \text{Ta}/4$; et $\text{B} = 1/3 \text{K}_1 + 0.5$; with $\text{K}_1 = \text{Min}(\text{I}^*; \text{J}^*)$; $\text{I}^* = \text{Max}(\text{O}; \text{I})$; $\text{J}^* = \text{Max}(\text{O}; \text{J})$; $\text{I} = \text{Min}(\text{N}; \text{N} - 0.29(\text{Ti} + \text{Zr}/2 - 5))$; Formula F(a).

(57) Abrégé : Bloc en acier pour la fabrication de moules d'injection de matière plastique ou pour la fabrication de pièces pour le travail des métaux d'épaisseur supérieure à 20 mm, dont la structure est entièrement martensitique ou martensito-bainitique, dont la dureté est comprise entre 430 HB et 530 HB et dont la composition chimique comprend, en % en poids : $0,180\% \leq C \leq 0,400\%$; $\text{Si} \leq 0,8\%$; $\text{Mn} \leq 2,5\%$; $\text{Ni} \leq 3\%$; $\text{Cr} \leq 3,5\%$; $\text{Mo} + \text{W}/2 \leq 2,8\%$; $\text{V} + \text{Nb}/2 + \text{Ta}/4 \leq 0,5\%$; $\text{Al} \leq 0,4\%$; $\text{Ti} + \text{Zr}/2 \leq 0,1\%$; $0,0005\% < \text{B} < 0,015\%$; $\text{S} + \text{Se} + \text{Te} < 0,2\%$; $\text{Pb} + \text{Bi} < 0,2\%$; $\text{Ca} < 0,1\%$; le reste étant du fer et des impuretés résultant de l'élaboration, la composition chimique satisfaisant en outre les relations suivantes : $3,2 \leq \text{Tr} \leq 9$; $85 \leq \text{Dr} \leq 95$; $\text{U/Dr} \leq 10.0$; avec : $\text{Tr} = 1,8\text{x}C + 1,1\text{xMn} + 0,7\text{xNi} + 0,6\text{xCr} + 1,6\text{xMo}^* + 0,5$; $\text{Dr} = 54\text{x}C^{0.25} + 24,5\text{x}(\text{Mo}^* + 3\text{xV}^*)^{0.30} + 1,58\text{xMn} + 0,74\text{xNi} + 1,8\text{xSi} + 12,5\text{x}(\text{Cr})^{0.20}$; $\text{U} = 1600\text{x}C + 100\text{x}(0,25\text{xCr} + \text{Mo}^* + 4,5\text{xV}^*)$; $\text{R} = 3,8\text{x}C + 10\text{xSi} + 3,3\text{xMn} + 2,4\text{xNi} + 1,4\text{x}(\text{Cr} + \text{Mo}^*)$; $\text{Mo}^* + 3\text{xV}^* \geq 0,4\%$; $\text{Mo}^* = \text{Mo} + \text{W}/2$; $\text{V}^* = \text{V} + \text{Nb}/2 + \text{Ta}/4$; et $\text{B} \geq 1/3 \text{K}_1 + 0,5$; avec $\text{K}_1 = \text{Min}(\text{I}^*; \text{J}^*)$; $\text{I}^* = \text{Max}(\text{O}; \text{I})$; $\text{J}^* = \text{Max}(\text{O}; \text{J})$; $\text{I} = \text{Min}(\text{N}; \text{N} - 0,29(\text{Ti} + \text{Zr}/2 - 5))$; Formula F(a).

WO 03/083153 A1

BLOC EN ACIER POUR LA FABRICATION DE MOULES D'INJECTION DE
MATIERE PLASTIQUE OU POUR LA FABRICATION DE PIECES POUR LE
TRAVAIL DES METAUX

5 La présente invention est relative à un bloc en acier utilisable, notamment, pour la fabrication de moules pour le moulage par injection de matières plastiques ou pour le moulage des métaux tels que les alliages légers ou pour la fabrication de pièces pour le travail des métaux.

10 Les moules pour le moulage par injection de matières plastiques sont, en général, réalisés en aciers dont la dureté est voisine de 300HB. Cependant, lorsque ces moules sont utilisés pour le moulage de plastiques tels que les plastiques techniques ou les plastiques thermodurcissables, il est préférable d'utiliser des aciers plus durs résistant mieux à l'usure. On peut alors utiliser un acier tel que le 55 NCDV 7 contenant environ 0,55% de carbone, 1,75% de nickel, du chrome, du molybdène
15 et du vanadium qui permet de fabriquer des moules dont la dureté est voisine de 400 HB. Cet acier présente cependant plusieurs inconvénients : il est difficile à usiner et difficile à souder. En outre, cet acier comporte souvent des ségrégations localisées qui constituent des points durs préjudiciables à l'aptitude au polissage ou au grainage chimique. Ces deux inconvénients sont particulièrement gênants car la
20 fabrication des moules nécessite des usinages importants et les moules sont généralement réparés par rechargement par soudure et polis ou grainés. En outre, ces moules doivent pouvoir être durcis en surface, par exemple par nitruration, sans perdre leur dureté.

Pour des applications encore plus exigeantes et particulièrement quand les
25 plastiques injectés sont chargés de fibres très dures, il est préférable d'utiliser des aciers encore plus durs, résistant mieux à l'usure. De même l'accroissement des pressions d'injection conduit également à rechercher des aciers plus résistants et donc plus durs. Enfin, pour certaines applications d'injection d'alliages légers ou de travail à froid ou à tiède des métaux, les contraintes mécaniques imposées à
30 l'outillage et les exigences de tenue à l'usure conduisent à adopter des niveaux de dureté de l'acier supérieurs à 450HB. On peut alors chercher à utiliser un acier de résistance voisine de 450 voire 500 HB tel que par exemple les nuances AISI H11 ou H13 qui sont également couramment utilisées pour l'injection d'alliages légers. Ces aciers contiennent environ : 0,4% de carbone, 5% de chrome, 1,25% de molybdène,

0,3 à 1% de vanadium. Mais de tels aciers présentent, à un degré encore plus élevé, les mêmes d'inconvénients que le 55NCDV 7, évoqués plus haut.

En outre, un autre problème se pose de manière particulièrement cruciale avec l'accroissement de la dureté, laquelle s'accompagne presque inévitablement d'une réduction de ténacité : le risque de fissuration entre les canaux de refroidissement et la surface d'empreinte du moule, que ces canaux ont pour fonction de refroidir efficacement, en passant relativement près de cette surface.

Le but de la présente invention est de remédier à ces inconvénients en proposant un acier pour moules ou pour la fabrication de pièces pour le travail des métaux plus facilement soudable, plus facile à usiner, à polir et à grainer et plus conducteur de la chaleur que les aciers selon l'art antérieur, et permettant de fabriquer des moules ou des outils ayant une dureté de l'ordre de 450 à plus de 500 HB, y compris après une opération de durcissement en surface par nitruration, ce qui impose que les caractéristiques requises, notamment en dureté, soient compatibles avec un revenu à une température supérieure à 530°C.

A cet effet, l'invention a pour objet un bloc en acier d'épaisseur supérieure à 20 mm et pouvant aller jusqu'à 1500mm, dont la structure est martensitique ou martensito-bainitique, dont la dureté est comprise entre 430 HB et 520 HB environ en tous points, destiné à la fabrication de pièces pour moules ou pour outillage, et dont la composition chimique comprend, en % en poids :

$$0,180\% \leq C \leq 0,400\%$$

$$Si \leq 0,8\%$$

$$Mn \leq 2,5\%$$

$$Ni \leq 3\%$$

$$Cr \leq 3,5\%$$

$$Mo+W/2 \leq 2,8\%$$

$$V + Nb/2 + Ta/4 \leq 0,5\%$$

$$Al \leq 0,4\%$$

$$Ti + Zr/2 \leq 0,1\%$$

- du bore en une teneur comprise entre 0,0005% et 0,015%,
- éventuellement un ou plusieurs éléments pris parmi le soufre, le sélénium et le tellure, la somme des teneurs en ces éléments étant inférieure ou égale à 0,2%,
- éventuellement un ou plusieurs éléments pris parmi le plomb et le bismuth, la somme des teneurs en ces éléments étant inférieure ou égale à 0,2%,

- éventuellement du calcium en une teneur inférieure ou égale à 0,1%,
le reste étant du fer et des impuretés résultant de l'élaboration, le cuivre étant une
impureté, la composition chimique satisfaisant en outre les relations suivantes :

$$3,2 \leq Tr \leq 9$$

5

$$85 < Dr \leq 95$$

$$U/Dr \leq 10,0$$

$$Mo^* + 3xV^* \geq 0,4\%$$

dans lesquelles, pour des teneurs exprimées en % :

$$Tr = 1,8xC + 1,1xMn + 0,7xNi + 0,6xCr + 1,6xMo^* + 0,5$$

10

$$Dr = 54xC^{0,25} + 24,5x(Mo^* + 3xV^*)^{0,30} + 1,58xMn + 0,74xNi + 1,8xSi + 12,5x(Cr)^{0,20}$$

$$U = 1600xC + 100x(0,25xCr + Mo^* + 4,5xV^*)$$

$$R = 3,8xC + 10xSi + 3,3xMn + 2,4xNi + 1,4x(Cr + Mo^*)$$

$$Mo^* = Mo + W/2$$

15

$$V^* = V + Nb/2 + Ta/4$$

et les teneurs en bore, aluminium, titane, zirconium et azote, exprimées en millièmes
de % en poids, sont telles que :

$$B \geq \frac{1}{3} \times K1 + 0,5$$

avec $K1 = \text{Min}(I^* ; J^*)$

20

$$I^* = \text{Max}(0 ; I) \quad \text{et} \quad J^* = \text{Max}(0 ; J)$$

$$I = \text{Min}(N ; N - 0,29(Ti + Zr/2 - 5))$$

$$J = \text{Min}\left(N ; 0,5\left(N - 0,52 \text{ Al} + \sqrt{(N - 0,52 \text{ Al})^2 + 283}\right)\right).$$

De préférence, la composition chimique est telle que :

$$R > 11$$

25

De préférence également, la composition chimique est telle que :

$$R \leq 2,7xTr$$

Il est préférable que la teneur en silicium reste strictement inférieure à 0,45%
en poids.

De préférence, la composition est telle que : $R/(2,7xTr) \leq 0,90$, plus
30 préférentiellement $R/(2,7xTr) \leq 0,80$.

De préférence, la composition est telle que $U/Dr \leq 9,0$.

En outre, il est préférable que la composition chimique de l'acier soit telle que :

$$0,230 \% \leq C \leq 0,350 \%$$

$$Si \leq 0,30 \%$$

$$0,1 \% < Mn \leq 1,8 \%$$

$$Ni \leq 2,5 \%$$

5

$$0,2 \% \leq Cr \leq 3 \%$$

$$Mo + W/2 \leq 2,5 \%$$

$$V + Nb/2 + Ta/4 \leq 0,3 \%$$

$$Mo^* + 3xV^* \geq 0,8\%$$

et mieux encore, telle que :

10

$$0,240 \% \leq C \leq 0,320 \%$$

$$Si \leq 0,15 \%$$

$$0,1 \% \leq Mn \leq 1,6 \%$$

$$Ni \leq 2 \%$$

$$0,2 \% \leq Cr \leq 2,5 \%$$

15

$$0,3 \% \leq Mo + W/2 \leq 2,5 \%$$

$$V + Nb/2 + Ta/4 \leq 0,3 \%$$

$$Mo^* + 3xV^* \geq 1,2\%$$

Il est alors préférable que la composition soit telle que $Tr > 4,5$.

L'invention concerne également une pièce de moule en acier usinée dans un
20 bloc conforme selon l'invention, dont au moins une partie de la surface est durcie
par nitruration et dont la dureté en tous points est comprise entre 430 HB et 530 HB.

L'acier selon l'invention a l'avantage d'avoir une meilleure conductibilité
thermique que les aciers selon l'art antérieur. Cette meilleure conductibilité thermique
permet de prévoir des canaux de refroidissement plus éloignés de la surface des
25 moules que ce qu'exige l'utilisation d'aciers selon l'art antérieur. Ainsi, le risque de
fissures entre les canaux et la surface de l'empreinte des moules est sensiblement
réduit. De plus, du fait de la meilleure conductibilité thermique, le refroidissement des
moules se fait de façon plus homogène, ce qui améliore la qualité du moulage.

L'acier selon l'invention est également destiné à fabriquer des pièces pour le
30 travail des métaux.

L'invention va maintenant être décrite de façon plus précise mais non
limitative et illustrée par des exemples.

Les pièces pour moules ou par travail des métaux sont fabriquées par usinage
dans des blocs d'acier massifs trempés pour obtenir une structure martensitique ou

martensito-bainitique et revenus pour obtenir les propriétés souhaitées de dureté et ductilité. Il est alors nécessaire d'utiliser un acier ayant une trempabilité élevée et une aptitude au durcissement importante. Mais ces aciers durcis doivent avoir une usinabilité la meilleure possible et une conductivité thermique la plus élevée possible.

5 Cette dernière propriété est utile pour améliorer la productivité des opérations de moulage. A priori, la combinaison de ces différentes propriétés est contradictoire. En effet, il est connu que l'acier est d'autant moins facile à usiner qu'il est dur et il est connu d'améliorer l'usinabilité en ajoutant des éléments d'addition tels que le soufre, le calcium, le sélénium, le tellure ou le plomb. Mais, dans les aciers à moules ces
10 additions doivent être limitées car, bien qu'elles soient acceptables lorsque la surface des empreintes des moules est grainée, elles sont néfastes quand les surfaces sont polies. En tout état de cause de telles additions sont insuffisantes. On sait également que la conductivité thermique de l'acier et sa trempabilité varient en sens inverse en fonction de sa composition. Ces exigences sont donc contradictoires. Cependant, les
15 inventeurs ont constaté de façon nouvelle qu'il est possible de trouver des domaines de composition permettant d'obtenir des combinaisons de propriétés sensiblement meilleures que celles des aciers connus. Ces domaines de composition sont définis d'une part par des fourchettes de teneurs en chacun des éléments de la composition, et d'autre part, par des formules à respecter.

20 Pour obtenir de telles combinaisons de propriétés, l'acier doit contenir :

- de 0,18% à 0,4% de carbone pour former des carbures durcissant sans toutefois trop détériorer la soudabilité, la ténacité et l'usinabilité, de préférence, cette teneur doit être comprise entre 0,230% et 0,350%, et mieux encore, comprise entre 0,240% et 0,320% .
- 25 - moins de 0,8%, de préférence moins de 0,30% et mieux, moins de 0,15% de silicium. Cet élément utilisé généralement pour désoxyder l'acier au cours de l'élaboration a un effet défavorable sur la conductivité thermique. Cependant, il est toujours présent au moins à l'état de traces.
- moins de 2,5% de manganèse, et de préférence, de 0,1% à 1,8%, et mieux, de
30 0,1 % à 1,6%, pour obtenir une bonne trempabilité sans toutefois engendrer trop de ségrégations qui réduiraient l'aptitude à obtenir de bons états de surface sur les moules. Cet élément est toujours présent au moins à l'état de traces. En outre, il est préférable que sa teneur soit supérieure à 0,1% afin de piéger le soufre toujours présent à l'état d'impuretés. Si du soufre a été ajouté pour

améliorer l'usinabilité, la teneur minimale en manganèse doit être de préférence adaptée en conséquence et être d'au moins 5 fois, et de préférence 7 fois la teneur en soufre.

- 5 - Moins de 3 % de nickel, de préférence moins de 2,5% et mieux encore moins de 2%. Cet élément permet d'augmenter la trempabilité mais il est très coûteux. Il peut être présent à l'état de traces. Cependant, dans les applications requérant une forte ténacité et une très bonne homogénéité de dureté, il peut être intéressant de réduire la teneur en manganèse au profit du nickel à raison de deux parts de nickel en substitution d'une part de manganèse. Cette substitution
10 d'une partie du manganèse par du nickel a aussi l'avantage de réduire les ségrégations.
- Moins de 3,5% de chrome, et de préférence de 0,2 % à 3% de chrome, et plus préférentiellement encore, de 0,2% à 2,5%. Cet élément permet d'augmenter la trempabilité, mais en trop forte quantité, il a tendance à enrichir les carbures en
15 chrome au détriment d'autres éléments plus favorables tels que le molybdène, le tungstène, le vanadium, le niobium et le tantale. Il peut être présent à l'état de traces.
- Du molybdène et/ou du tungstène en des teneurs telles que la somme $Mo^* = Mo + W/2$ soit inférieure à 2,8%, et de préférence inférieure à 2,5%, il est également
20 préférable qu'elle soit supérieure à 0,3%. Ces éléments sont fortement trempant, en outre, ils réduisent sensiblement l'adoucissement au revenu, ce qui est souhaitable notamment lorsque les empreintes des moules sont soumises à des traitements de surface telles que la nitruration à des températures d'au moins 500°C. Cependant, en trop grande quantité, ils détériorent l'aptitude à l'usinage.
- 25 - Eventuellement au moins un élément pris parmi le vanadium, le niobium et le tantale en des teneurs telles que la somme $V^* = V + Nb/2 + Ta/4$ soit inférieure à 0,5%, et mieux, inférieure à 0,3%. Ces éléments permettent d'augmenter la résistance à l'adoucissement au revenu, notamment lorsque le revenu est effectué au-dessus de 550°C. Ils permettent également d'augmenter la tenue à
30 l'usure des empreintes des moules. Mais en trop forte quantité, ils détériorent l'usinabilité et la soudabilité.
- de 0,0005 % à 0,015 % de bore. Cet élément augmente sensiblement la trempabilité sans nuire à la conductivité thermique. De plus, son effet disparaissant aux températures d'austénitisation élevées rencontrées en

soudage, il est favorable à une bonne aptitude à la réparation par soudure. En dessous de 0,0005%, qui est pratiquement la limite de détection par les moyens d'analyse, il n'a pas d'effet significatif. Au-dessus de 0,015% il engendre une fragilisation de l'acier sans augmenter la trempabilité.

5 Eventuellement jusqu'à 0,4% d'aluminium et éventuellement un ou plusieurs éléments pris parmi le titane et le zirconium, la somme $Ti + Zr/2$ pouvant aller jusqu'à 0,1%. Ces éléments sont des désoxydants forts. De plus ils fixent l'azote toujours présent au moins à titre d'impureté en des teneurs généralement inférieures à 0,0250% mais pouvant aller au delà, cependant, lorsque l'acier contient du bore la
10 teneur en azote doit rester inférieure à 0,0250%. La présence d'au moins un élément pris parmi Al, Ti et Zr est souhaitable pour que le bore ait sa pleine efficacité.

Pour que l'aluminium, le titane et le zirconium, pris seuls ou en combinaison de deux ou trois de ces éléments, protègent le bore contre l'azote et lui confèrent ainsi sa pleine efficacité, les teneurs en bore, aluminium, titane, zirconium et azote,
15 exprimées en millièmes de % en poids, doivent, de préférence, être telles que :

$$B \geq \frac{1}{3} \times K1 + 0,5$$

avec $K1 = \text{Min}(I^* ; J^*)$

$I^* = \text{Max}(0 ; I)$ et $J^* = \text{Max}(0 ; J)$

$I = \text{Min}(N ; N - 0,29(Ti + Zr/2 - 5))$

20 $J = \text{Min}\left(N ; 0,5\left(N - 0,52 \text{ Al} + \sqrt{(N - 0,52 \text{ Al})^2 + 283}\right)\right).$

- Le cuivre peut exister à l'état de traces ou d'impureté jusqu'à des teneurs de l'ordre de 0,3%.
- Eventuellement un ou plusieurs éléments pris parmi le soufre, le sélénium et le tellure en faible quantité, la somme des teneurs en ces éléments devant rester
25 inférieure à 0,2%. Cependant, lorsque l'acier est destiné à la fabrication de moules dont la surface est polie et grainée chimiquement, la somme des teneurs en ces éléments doit rester inférieure à 0,025%, ou mieux, inférieure à 0,005%.
- Eventuellement un ou plusieurs éléments pris parmi le plomb et le bismuth, la somme des teneurs en ces éléments étant inférieure à 0,2%. Cependant, lorsque
30 l'acier est destiné à la fabrication de moules dont la surface est polie et grainée chimiquement, il est préférable que l'acier ne contienne pas de tels éléments.

- Eventuellement du calcium en une teneur inférieure à 0,1%. Cependant, lorsque l'acier est destiné à la fabrication de moules dont la surface est polie et grainée chimiquement, il est préférable que l'acier ne contienne pas cet élément car son action positive sur l'usinabilité se réalise en conjonction avec le soufre dont l'addition est préférentiellement limitée quand l'acier doit être poli ou grainé.
- le reste de la composition est constitué de fer et d'impuretés résultant de l'élaboration. Il convient de noter que, pour tous les éléments d'addition dont la teneur minimale n'est pas imposée, lorsque ces éléments ne sont pas ajoutés, ils peuvent toujours se trouver au moins sous forme de résiduels ou d'impuretés, en des teneurs très faibles.

A l'intérieur des limites qui viennent d'être définies, la composition de l'acier doit être choisie afin obtenir les caractéristiques d'usage souhaitées. Pour cela, la composition doit être telle que :

- la grandeur $Tr = 1,8xC + 1,1xMn + 0,7xNi + 0,6xCr + 1,6xMo^* + 0,5$, soit supérieure à 3,2 et mieux supérieure à 4,5 pour obtenir une trempabilité suffisante. En particulier, Tr doit être supérieur à 4,5 pour permettre d'obtenir une structure martensito-bainitique sans trace de structure perlitique sur des pièces dont l'épaisseur peut dépasser 1000 mm et atteindre 1500mm.
- La grandeur $Dr = 54xC^{0,25} + 24,5x(Mo^* + 3xV^*)^{0,30} + 1,58xMn + 0,74xNi + 1,8xSi + 12,5x(Cr)^{0,20}$ doit être comprise entre 85 et 95 afin d'obtenir un durcissement par les carbures suffisant sans toutefois trop détériorer l'usinabilité.
- La grandeur $U = 1600xC + 100x(0,25xCr + Mo^* + 4,5xV^*)$ qui est un indicateur de l'usinabilité (plus il est faible, plus l'usinabilité est bonne), doit être tel que le ratio rendant compte de la difficulté d'usinage rapportée au durcissement, U/Dr , reste inférieur à 10,0 et de préférence à 9,0.
- La grandeur $R = 3,8xC + 10xSi + 3,3xMn + 2,4xNi + 1,4x(Cr + Mo^*)$ qui varie comme la résistivité thermique, c'est à dire l'inverse de la conductivité thermique, doit, de préférence, rester inférieure ou égal à $2,7xTr$. Mieux, le ratio $R/(2,7xTr)$ doit être inférieur ou égal à 0,90 et, mieux encore à 0,80. Cependant, compte tenu de l'ensemble des exigences de caractéristiques souhaitées pour l'acier, cette grandeur ne peut, en général, pas descendre en dessous de 11 aussi,

l'invention concerne plus particulièrement les aciers pour lesquels $R > 11$, tout en étant le plus faible possible.

- Compte tenu de toutes les contraintes, la somme $Mo^* + 3xV^*$ doit être supérieure à 0,4% ; lorsque la composition de l'acier correspond à l'analyse préférentielle :

$$0,230 \% \leq C \leq 0,350 \%$$

$$Si \leq 0,30 \%$$

$$0,1 \% < Mn \leq 1,8 \%$$

$$Ni \leq 2,5 \%$$

$$0,2 \% \leq Cr \leq 3 \%$$

$$Mo + W/2 \leq 2,5 \%$$

$$V + Nb/2 + Ta/4 \leq 0,3\%$$

$Mo^* + 3xV^*$ doit être supérieur à 0,8% ; lorsque l'acier correspond à l'analyse plus préférentielle :

$$0,240 \% \leq C \leq 0,320 \%$$

$$Si \leq 0,15 \%$$

$$0,1 \% \leq Mn \leq 1,6 \%$$

$$Ni \leq 2 \%$$

$$0,2 \% \leq Cr \leq 2,5 \%$$

$$0,3 \% \leq Mo + W/2 \leq 2,5 \%$$

$$V + Nb/2 + Ta/4 \leq 0,3 \%$$

$Mo^* + 3xV^*$ doit être supérieur à 1,2%.

Pour fabriquer un moule avec cet acier, on élabore l'acier, on le coule et on le lamine ou on le forge à chaud de façon connue et on le découpe pour obtenir des blocs de dont l'épaisseur est supérieure à 20 mm et peut dépasser 100mm et atteindre 400mm, voire 600mm, et même 1500 mm. A noter que, pour les épaisseurs les moins importantes, les blocs peuvent être des tôles ou des larges plats, et que pour les plus fortes épaisseurs, ce sont, en général, des blocs forgés.

Les blocs sont austénitisés, éventuellement dans la chaude de forgeage ou de laminage, à une température supérieure à AC_3 et de préférence inférieure à 950°C, notamment lorsque l'acier contient du bore, puis ils sont trempés à l'air, l'huile ou l'eau selon l'épaisseur et la trempabilité de l'acier, de façon à obtenir une structure martensitique ou martensito-bainitique dans toute la masse. Enfin, ils sont revenus à une température supérieure à 500°C et, de préférence, au moins égale à 550°C,

mais inférieure à AC_1 . On obtient ainsi une dureté comprise entre 430HB et 530HB environ.

Dans de tels blocs, on usine de façon connue des pièces de moules comportant des empreintes qui sont polies et éventuellement grainées. Eventuellement, ces
5 pièces sont durcies en surface, par exemple par nitruration gazeuse. Après nitruration gazeuse, hormis l'extrême surface des pièces qui est nitrurée, la dureté de l'acier reste comprise entre 430HB et 530HB environ.

A titre d'exemple et de comparaison, on considère les analyses rapportées au tableau 1, dont certaines caractéristiques sont reportées au tableau 2.

10 Les exemples 1 à 6, 9 à 12 et 14 à 16 sont conformes à l'invention et les exemples 17, 18, 20 et 21 sont donnés à titre de comparaison. Ces aciers ne contiennent pas d'additions de sélénium, tellure, plomb, bismuth ou calcium. Ils contiennent cependant un peu de soufre, entre 0,010% et 0,020%.

Pour tous ces aciers, on a également déterminé la dureté HB à l'état trempé
15 revenu, c'est à dire pour une structure martensitique ou martensito-bainitique revenue à 550°C, ainsi que la dureté HVZAT en zone affectée par la chaleur au voisinage d'une soudure qu'on a comparé à la dureté HVbase du métal de base non affecté par la chaleur. Ces résultats sont reportés également au tableau 1.

Au vu de ces deux tableaux, on peut constater, qu'à dureté comparable (HB) et
20 coefficient de dureté D_r comparable, les aciers selon l'invention ont une usinabilité meilleure (ratio U/D_r plus faible) que les aciers donnés à titre de comparaison. En outre, ils ont une aptitude à la réparation par soudure meilleure et surtout une réponse homogène au polissage après réparation bien meilleure que celle des aciers donnés à titre de comparaison, puisque la dureté en ZAT est plus faible et surtout
25 que le rapport HVZAT/HVbase est plus faible. Pour les aciers selon l'invention, le rapport HVZAT/HVbase ne dépasse pas en effet 1,20 lorsque le carbone est inférieur ou égal à 0,35%.

Tableau 1

	C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo	W	V	Nb	Cu	B*	Al*	Ti*	N*
1	0,25	0,15	1,3	0	2,1	1	0	0,3	0	0,2		25		6
2	0,24	0,13	1,2	0,3	2,5	1	0,9	0,26	0,1	0,2		4		8
3	0,2	0,1	1,3	1	2	1,1	0,8	0,3	0	0,2		19		4
4	0,25	0,15	1	0,2	2	2,1	0	0,3	0	0,3		35		5
5	0,28	0,15	1	0,2	3,3	1,8	1,5	0,3	0	0,2		22		5
6	0,29	0,04	1,2	1,2	2,1	1	0	0,16	0,28	0,02		27	12	6
9	0,35	0,15	0,7	1	1,3	1,5	0	0,28	0	0,3	2	65		5
10	0,35	0,15	1,4	1,5	1,5	1,5	0	0,28	0	0,2	2	14	22	6
11	0,28	0,12	0,7	1,2	2,2	1,6	0	0,2		0,3		18		3
12	0,31	0,12	0,2	1,2	2,2	1,6	0	0,2	0	0,1	3	32	18	5
14	0,38	0,13	1,3	0,2	2,9	1,5	0	0,1	0	0,2		21		9
15	0,39	0,05	1,3	1,8	2	1,55	0	0,09		0,2		27		2
16	0,39	0,03	1,3	1,5	3,2	0,8	0	0,1		0,3		25		3
17	0,39	0,3	0,63	0,1	1,5	0,45	0	0,42	0	0,1		18		4
18	0,38	1	0,4	0,2	5	1,25	0	0,34	0	0,1		22		5
20	0,34	0,25	0,8	0,2	0,5	0,5	0	0,6	0	0,3		12		7
21	0,39	0,45	0,57	0,1	3,2	0,7	0	0,24	0	0,2		15		5

* le bore, l'azote, le titane et l'aluminium sont exprimés en millièmes de %.

Tableau 2

	Tr	Dr	U	R	R/2,7Tr	U/Dr	HB	HVZAT	HVZAT/HVbase
1	4,74	84,7	688	11,1	0,87	8,12	440	542	1,12
2	5,78	86,9	731	12,4	0,8	8,41	460	540	1,07
3	6,09	85,3	655	13,4	0,81	7,68	443	500	1,03
4	6,25	88,6	795	12	0,71	8,97	472	539	1,04
5	7,8	92,7	921	14,5	0,69	9,93	515	588	1,04
6	5,54	86,7	752	12,7	0,85	8,67	460	586	1,16
9	5,78	88,4	869	11,5	0,73	9,82	477	626	1,19
10	7,02	90,3	874	15,3	0,8	9,67	493	641	1,18
11	5,99	87,2	753	12,8	0,79	8,64	462	574	1,13
12	6	87,4	801	11,2	0,69	9,17	462	597	1,18
14	6,39	89,5	876	13,7	0,79	9,78	485	679	1,27
15	7,07	89,8	870	15,6	0,82	9,68	493	685	1,26
16	6,38	86,9	829	15,3	0,89	9,54	455	701	1,4
17	3,09	86,6	896	9,53	1,14	10,3	460	663	1,31
18	6,26	93,6	1011	22	1,3	10,8	530	727	1,25
20	2,73	85,4	877	8,31	1,13	10,3	442	601	1,24
21	4,44	87,4	882	13,6	1,13	10,1	465	694	1,36

5

Ces aciers sont aptes à la fabrication de pièces de moules d'injection de matières plastiques. Mais ils sont aptes également à la fabrication de pièces d'outillage pour le travail des métaux.

REVENDEICATIONS

1 – Bloc en acier destiné à la fabrication de moules pour l'injection de matière
 5 plastique ou pour le moulage de métaux ou pour la fabrication de pièces pour le travail des métaux, d'épaisseur supérieure à 20 mm, dont la structure est entièrement martensitique ou martensito-bainitique, dont la dureté en tous points est comprise entre 430 HB et 530 HB et dont la composition chimique de l'acier comprend, en % en poids :

10 $0,180\% \leq C \leq 0,400\%$

$$Si \leq 0,8\%$$

$$Mn \leq 2,5\%$$

$$Ni \leq 3\%$$

$$Cr \leq 3,5\%$$

15 $Mo+W/2 \leq 2,8\%$

$$V + Nb/2 + Ta/4 \leq 0,5\%$$

$$Al \leq 0,4\%$$

$$Ti + Zr/2 \leq 0,1\%$$

- du bore en une teneur comprise entre 0,0005% et 0,015%,
- 20 - éventuellement un ou plusieurs éléments pris parmi le soufre, le sélénium et le tellure, la somme des teneurs en ces éléments étant inférieure ou égale à 0,2%,
- éventuellement un ou plusieurs éléments pris parmi le plomb et le bismuth, la somme des teneurs en ces éléments étant inférieure ou égale à 0,2%,
- éventuellement du calcium en une teneur inférieure ou égale à 0,1%,
- 25 le reste étant du fer et des impuretés résultant de l'élaboration, le cuivre étant une impureté, la composition chimique satisfaisant en outre les relations suivantes :

$$3,2 \leq Tr \leq 9$$

$$85 < Dr \leq 95$$

$$U/Dr \leq 10,0$$

30 $Mo^* + 3xV^* \geq 0,4\%$

dans lesquelles, pour des teneurs exprimées en%, :

$$Tr = 1,8xC + 1,1xMn + 0,7xNi + 0,6xCr + 1,6xMo^* + 0,5$$

$$Dr = 54xC^{0,25} + 24,5x(Mo^* + 3xV^*)^{0,30} + 1,58xMn + 0,74xNi + 1,8xSi + 12,5x(Cr)^{0,20}$$

$$U = 1600 \times C + 100 \times (0,25 \times Cr + Mo^* + 4,5 \times V^*)$$

$$R = 3,8 \times C + 10 \times Si + 3,3 \times Mn + 2,4 \times Ni + 1,4 \times (Cr + Mo^*)$$

$$Mo^* = Mo + W/2$$

$$V^* = V + Nb/2 + Ta/4$$

- 5 Les teneurs en bore, aluminium, titane, zirconium et azote, exprimées en millièmes de % en poids, étant telles que :

$$B \geq \frac{1}{3} \times K1 + 0,5$$

avec $K1 = \text{Min}(I^* ; J^*)$

$$I^* = \text{Max}(0 ; I) \quad \text{et} \quad J^* = \text{Max}(0 ; J)$$

10 $I = \text{Min}(N ; N - 0,29(Ti + Zr/2 - 5))$

$$J = \text{Min}\left(N ; 0,5\left(N - 0,52 \text{ Al} + \sqrt{(N - 0,52 \text{ Al})^2 + 283}\right)\right).$$

- 2 – Bloc en acier selon la revendication 1, dont la composition chimique est telle que :

$$R > 11$$

15

- 3 – Bloc en acier selon la revendication 1 ou la revendication 2, caractérisé en ce que :

$$R \leq 2,7 \times Tr$$

- 20 4 – Bloc en acier selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que la teneur en silicium est strictement inférieure à 0,45% en poids et la teneur en carbone inférieure ou égale à 0,35% en poids.

- 5 – Bloc en acier selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, caractérisé en ce que $R / (2,7 \times Tr) \leq 0,90$.

- 25 6 – Bloc en acier selon la revendication 5, caractérisé en ce que $R / (2,7 \times Tr) \leq 0,80$

- 7 – Bloc en acier selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, caractérisé en ce que $U/Dr < 9,0$.

- 30 8 – Bloc en acier selon la revendication 7, caractérisé en ce que sa composition est telle que :

$$0,230 \% \leq C \leq 0,350 \%$$

$$Si \leq 0,30 \%$$

14

$$0,1\% \leq \text{Mn} \leq 1,8 \%$$

$$\text{Ni} \leq 2,5 \%$$

$$0,2 \% \leq \text{Cr} \leq 3,0 \%$$

$$\text{Mo} + \text{W}/2 \leq 2,5 \%$$

5

$$\text{V} + \text{Nb}/2 + \text{Ta}/4 \leq 0,3 \%$$

$$\text{Mo}^* + 3\text{xV}^* \geq 0,8\%$$

9 – Bloc en acier selon la revendication 8, caractérisé en ce que sa composition est telle que :

10

$$0,240 \% \leq \text{C} \leq 0,320 \%$$

$$\text{Si} \leq 0,15 \%$$

$$0,1 \% \leq \text{Mn} \leq 1,6 \%$$

$$\text{Ni} \leq 2,0 \%$$

$$0,2 \% \leq \text{Cr} \leq 2,5 \%$$

15

$$0,3 \% \leq \text{Mo} + \text{W}/2 \leq 2,5 \%$$

$$\text{V} + \text{Nb}/2 + \text{Ta}/4 \leq 0,3 \%$$

$$\text{Mo}^* + 3\text{xV}^* \geq 1,2\%$$

10 – Bloc en acier selon la revendication 8 ou 9, caractérisé en ce que $\text{Tr} > 4,5$.

20

11 – Pièce de moule en acier usinée dans un bloc conforme à l'une quelconque des revendications 1 à 10, dont au moins une partie de la surface est durcie par nitruration et dont la dureté en tous points est comprise entre 430HB et 530HB.

25