

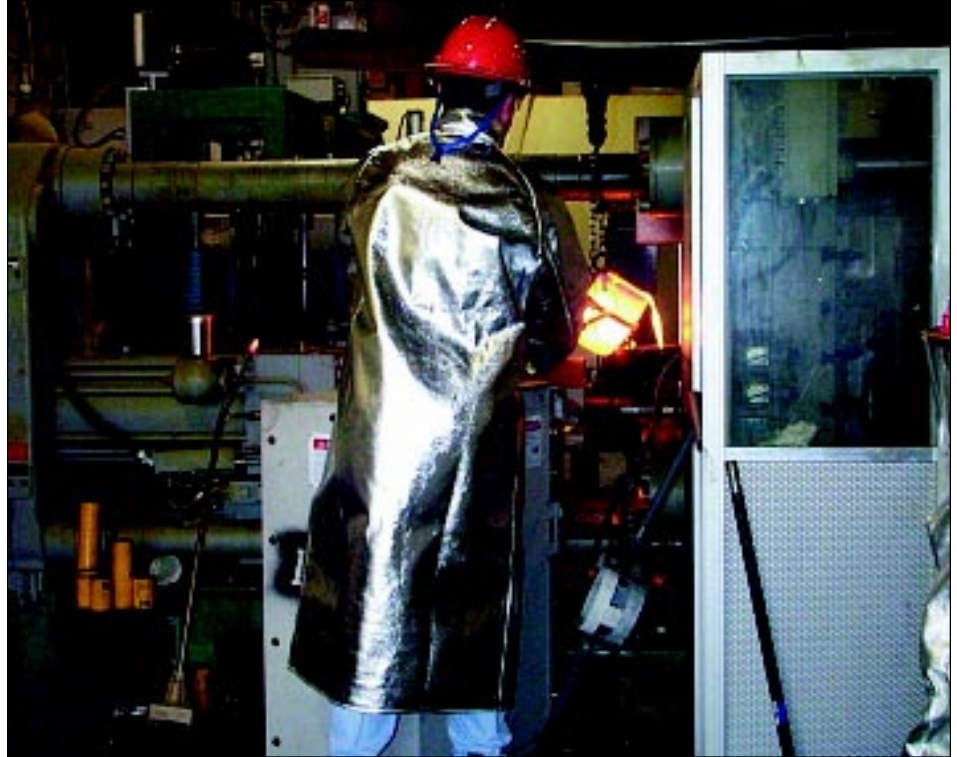
# Un rotor de moteur en cuivre coulé

En 1997, la Copper Development Association (CDA) des États-Unis a commencé à étudier la possibilité de remplacer par du cuivre l'aluminium du rotor à cage d'écurie des moteurs de moyenne puissance afin d'en améliorer le rendement électrique. La tâche est aujourd'hui terminée et la technologie a été éprouvée aux fins d'essai, et les résultats sont impressionnants.

Le rendement d'un moteur électrique standard de 25 CV est approximativement de 88 %, alors que celui des versions actuelles à rendement accru atteint presque 91 %. À ces niveaux élevés de rendement, il est de plus en plus difficile d'améliorer davantage le rendement réalisable sur les plans technique et économique. Toutefois, avec un moteur muni d'un rotor en cuivre, les rendements pourraient théoriquement atteindre 92.5 %.

Comme les rotors actuels en aluminium sont produits par moulage sous pression, il était impérieux que les rotors en cuivre soient produits à l'aide du même équipement de fabrication. Le premier obstacle à vaincre était la question d'une durée de vie utile inadaptée de la matrice. La CDA a réuni un groupe de grands fabricants de moteurs, de fournisseurs d'équipement de moulage sous pression Bühler, de fabricants de matériaux moulés à haute température. Elle a mandaté la société Formcast, Inc. de Denver au Colorado, de lui fournir le savoir-faire en matière de moulage sous pression et lui permettre d'utiliser sa machine de moulage sous pression pour mener les essais. Le financement a été en grande partie obtenu auprès des grands affineurs de cuivre par l'entremise de l'Association internationale du cuivre, avec la participation du Department of Energy et du Air-Conditioning and Refrigeration Institute des États-Unis.

Comme la température de fusion du cuivre est plus élevée que celle de l'aluminium, les matrices en acier, utilisées pour le moulage de l'aluminium sous pression, ne conviennent pas au cuivre. La fusion du cuivre provoque des contraintes thermiques dans les matrices qui finissent par se fissurer. Une évaluation des autres matériaux pour matrices a révélé que seuls quelques matériaux spéciaux à haute température pourraient convenir et que le meilleur d'entre eux était INCONEL<sup>mc</sup> 617, un



*Versement du cuivre en fusion dans la machine de moulage sous pression.*

*Pouring a shot of molten copper into the pressure die-casting machine.*

superalliage au nickel fabriqué par la société Special Metals Corporation de Huntington, dans l'ouest de la Virginie. Un autre matériau suggéré est l'alliage au nickel 230 fabriqué par la société Haynes International de Kokomo, en Indiana.

Les essais ont aussi montré qu'il est indispensable de faire appel au préchauffage pour rendre les matrices les plus chaudes possible afin de leur assurer une plus longue durée de vie utile. La température élevée permet de réduire le gradient thermique entre la surface et l'intérieur de la matrice à chaque pièce produite, ce qui minimise la dilatation et le retrait du métal associés à chaque cycle de moulage. On a déterminé que la température de service optimale pour une matrice en INCONEL<sup>mc</sup> 617 était de 650° C.

Les essais de rendement électrique effectués sur une série de moteurs munis de rotors en cuivre ont indiqué que les pertes des moteurs étaient en moyenne de 40 % inférieures à celles des moteurs comparables en aluminium. Les pertes

électriques totales étaient de 15 à 23 % inférieures et le rendement augmentait jusqu'à 1,7 %. On n'avait pas prévu une baisse d'environ 5°C de la température de service de moteurs dotés d'un rotor en cuivre. D'après les notices techniques, cette baisse de température pourrait avoir pour effet d'accroître de 50 % leur durée de vie utile.

Comme ce projet a été couronné de succès sur le plan technique, l'International Copper Association et la CDA se proposent de transférer la technologie aux fabricants de moteurs du monde entier. Pendant ce temps, on poursuit les travaux de recherche en vue d'atteindre des rendements encore plus élevés avec de nouvelles conceptions de laminage qui permettent la coulée du cuivre sous pression et l'utilisation du cuivre dont la conductivité est élevée. Pour obtenir de plus amples renseignements sur le projet d'étude sur les moteurs munis d'un rotor en cuivre, consultez la page du site Web à l'adresse suivante : [www.copper-motor-rotor.org](http://www.copper-motor-rotor.org). ♦

<sup>mc</sup> marque de commerce

# Cast Copper Motor Rotor



*Cross-section of a cast motor rotor showing how the copper has completely filled the slots between the steel laminations.*

*Coupe transversale d'un rotor de moteur coulé montrant comment le cuivre a complètement rempli les cavités en acier laminé.*

In 1997, the Copper Development Association (CDA) in the U.S., initiated a project to substitute copper for aluminum in the "squirrel cage" structure of the rotor in medium-power motors as a means of improving their electrical energy efficiency. Today the task has been completed and the technology has been proven on a pilot scale with impressive results.

A standard electric motor of 25 Hp is approximately 88% efficient, while today's premium efficiency versions are close to 91%. At these high levels, it becomes increasingly difficult to achieve a further improvement in efficiency that is technically and economically feasible. However, with a copper rotor motor, efficiencies could theoretically increase to 92.5%.

Since the present aluminum rotor is produced by pressure die-casting, it was imperative that the manufacture of copper rotors use the same equipment. The first hurdle to overcome was the problem of inadequate die life. CDA assembled a consortium of major motor manufacturers, die-casting equipment suppliers, high-temperature mold materials firms, and contracted with Formcast, Inc., in Denver, Colorado to provide die-casting expertise as well as their Bühler die casting machine for the trials. Funding was largely from the world copper industry through the International Copper Association, with participation by the U.S. Department of Energy, and the Air Conditioning and Refrigeration Technical Institute.

Since copper melts at a higher temperature than aluminum, the typical steel dies used for aluminum die-casting are

known to be unsuitable with copper. Molten copper causes thermal stresses in the dies to the extent that they eventually crack. An evaluation of other die materials showed that a few special high-temperature materials might be suitable. The best candidate proved to be INCONEL® 617, a nickel-based superalloy, from Special Metals Corporation in Huntington, West Virginia. Another suggested alloy is Nickel Alloy 230 from Haynes International in Kokomo, Indiana.

The tests also showed that it was absolutely essential to run the dies as hot as possible using pre-heating, to assure longer die life. The higher die temperature reduced the thermal gradient from

the die surface to its interior for each shot, thus minimizing metal expansion and contraction associated with each casting cycle. The optimum die operating temperature for INCONEL® 617 was determined to be 650° C.

Electrical efficiency tests using copper rotors in a series of motors showed that, on average, copper rotor motor losses were 40 percent lower than those of comparable aluminum units. Total electrical losses were 15-23 percent lower and efficiency increased up to 1.7 percent. An unexpected result was a large drop of approximately 5° C in the operating temperature of the motors using the copper rotors. Motor guidelines estimate that this temperature drop may increase life expectancy of the motors by 50 percent.

Now that technical success has been achieved in this project, The International Copper Association and CDA are transferring the technology to motor manufacturers around the world. In the meantime research continues in an effort to achieve even higher efficiencies with new lamination designs that accommodate the copper die-casting process and copper's high conductivity. Further information on the Copper Motor Rotor Project can be found on the web page at [www.copper-motor-rotor.org](http://www.copper-motor-rotor.org). ♦

® Registered Trademark

*Two cast motor rotors before machining.*

*Deux rotors de moteur coulés avant l'usinage.*

